L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES LIEUX DE CULTE

INSTITUTION

Québec

GUIDE TECHNIQUE

L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES LIEUX DE CULTE

Ce document a été réalisé par
Claude Parisel, architecte
pour le Bureau de l'efficacité énergétique,
Ministère de l'Énergie et des Ressources

OCTOBRE 1988

90-04349/

Rédaction et édition :
Claude Parisel, architecte
Collaboration spéciale :
Michel Lacroix, architecte
Chargé de projet :
Gilles Latour, ing. M. urb.

Mise en garde:
Le ministère de l'Énergie et des Ressources et M. Claude Parisel déclinent toute responsabilité résultant de dommages causés par l'application de quelque mesure que ce soit, expliquée dans ce manuel, alors que cette mesure n'est pas adaptée à un contexte, installation et style de gestion ultérieure donnés.

© Gouvernement du Québec 1988

Dépôt légal — 3e trimestre 1988
Bibliothèque nationale du Québec

ISBN: 2-550-18975-2

Remerciements:

Le rédacteur tient à souligner les contributions de Messieurs Michel Lacroix, architecte, Gilles Latour, ing., M.urb. et Jacques Brouillette, conseiller en aménagement du Bureau de l'efficacité énergétique, Ministère de l'Énergie et des Ressources, lors de la réalisation de ce guide.

Il remercie également M. l'Abbé Claude Turmel et le Comité diocésain de construction et d'art sacré de Montréal pour leur précieuse collaboration.

TABLE DES MATIÈRES

Préface 1

1. Introduction 3

2. L'infiltration

2.1. Vue d'ensemble 7
2.2. Infiltration par les murs 10
2.3. Les voûtes et les toits de type "cathédrale" 11
2.4. Les fenêtres et les portes 12
2.5. Les autres ouvertures 13
2.6. L'aménagement extérieur 15
2.7. Les limites de l'étanchéité 16

3. L'isolation

3.1. Vue d'ensemble 17
3.2. Recommandations générales sur le choix, la quantité et la pose de l'isolant 18
3.3. L'isolation des murs de fondation 21
3.3.1. Cas des sous-sols chauffés et habités 22
3.3.2. Cas des sous-sols non chauffés et des vides sanitaires 23
3.4. L'isolation des murs extérieurs 24
3.5. L'isolation du toit et des voûtes 24
3.6. L'isolation des portes et des fenêtres 26
3.6.1. Cas des portes 26
3.6.2. Cas des fenêtres 27

4. Les systèmes de chauffage

4.1. Vue d'ensemble 31
4.2. Les sources d'énergie 32
4.3. Les chaudières et les brûleurs 35
4.3.1. Le chauffage au mazout 36
4.3.2. Le chauffage au gaz naturel 38
4.3.3. Le chauffage électrique 40
4.3.4. Les chaudières 42

4.4. Les systèmes de distribution de la chaleur 44
4.4.1. L'isolation et l'entretien des conduits 44
4.4.2. Amélioration et transformation des réseaux à vapeur 45
4.4.3. Amélioration des systèmes à air chaud 46
4.4.4. Amélioration des systèmes à eau chaude 46
4.4.5. Zonage des locaux 47
4.5. Les abaissements de température 48

5. Stratification et hélices 51

6. Éclairage
6.1. Vue d'ensemble 53
6.2. Réduction de l'éclairage 54
6.3. Le remplacement des sources lumineuses 56

7. Évaluation des économies prévisibles
7.1. Vue générale 61
7.2 L'infiltration
7.2.1. Coût du chauffage et réparttion entre les pertes par infiltration et les pertes par conduction 62
7.2.2. Combien rapporte le calfeutrage d'une fissure ou l'installation d'un coupe-bise à une porte ou une fenêtre? 64
7.2.3. Localisation des infiltrations et leur importance 64
7.2.4. L'aménagement extérieur: protection contre le vent 66
7.2.5. Addition d'un vestibule 67
7.3. L'isolation
7.3.1. Isolation des murs de fondation 67
7.3.2. Isolation des murs extérieurs 67
7.3.3. Isolation du toit et des voûtes 67
7.3.4. Isolation des portes 68
7.3.5. Isolation d'une fenêtre 68
7.3.6. Fenêtre dotée d'un vitrage à basse émissivité 68
7.4. Les systèmes de chauffage
7.4.1. Diminution de la température pendant les périodes d'innocupation 68
7.4.2. Changement de sources d'énergie pour le chauffage 69
7.4.3. Amélioration du système de chauffage 69
7.5. Stratification et hélices 70
7.6. Éclairage 70

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Église de Saint-Hyacinthe 2
Intérieur de l'église de l'Assomption 3
Tableau des calfeutrants 9
Illustration des garnitures étanches 11
Tableau des coupe-bise 14
Tableau des caractéristiques des isolants 19
Valeurs RSI du REENB 20
Isolation des fondations peu profondes 22
Caractéristiques des vitrages 30
La bi-énergie avec systèmes à eau chaude 34
La bi-énergie avec systèmes à air chaud 34
La bi-énergie avec pompe à chaleur 35
Brûleur à tête de retenue 37
Chaudière à brûleur atmosphérique 38
Appareil à tirage induit 38
Appareil à rendement amélioré 39
Chaudière à condensation des gaz de combustion 39
Appareil à combustion par impulsion 40
Générateur électrique d'air chaud 40
Les convecteurs 41
Les aérothermes 41
Contrôle du zonage des locaux 47
Thermostat programmable 48
Normes des températures ambiantes 50
Intensité d'éclairage recommandée 55
Église de Saint-Bernard de Lacolle 59
Description du lieu de culte choisi comme exemple 61
Coût du chauffage des infiltrations 62
Coût du chauffage des pertes par conduction 63
Coût total annuel du chauffage 63
Localisation des infiltrations d'air et leur surface 65
Réduction des infiltrations pour la protection contre le vent 66
Amélioration du système de chauffage 69

PRÉFACE

Ce document a été conçu par le BUREAU DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE dans le but d'aider les responsables des édifices de culte à réduire leurs dépenses d'opération en réduisant la consommation énergétique de ces bâtiments.

Il s'adresse donc aux ministres du culte, aux fabriques, aux marguillers, aux membres des comités de construction ou de rénovation et aux comités d'art sacré.

Ce document se limite au bâtiment de culte proprement dit et ne vise pas les divers corps annexes qui ont un caractère d'habitat comme le presbytère.

En effet, les caractéristiques architecturales propres à une église, ses dimensions, sa géométrie, sa construction, son usage et sa valeur historique la rendent très différente, à bien des points de vue, d'une habitation.

Il existe de nombreux documents et expertises sur les mesures d'économie d'énergie applicables aux habitations et on peut facilement les consulter.

Cependant les documents pertinents pour les édifices de culte sont rares, dispersés et peu adaptés au contexte québécois. De nombreux points restaient en suspens quant au bien fondé de certaines mesures à prendre. Dans ce document nous chercherons des solutions pouvant s'appliquer de manière générale tout en visant à couvrir les différences de situation inévitables.

Ce document se limite aussi aux mesures d'économie energétiques applicables aux édifices existants. Il pourrait, également, être utile dans le cas de nouvelles constructions, bien qu'il n'ait pas été rédigé dans ce sens.

La construction neuve représente l'occasion par excellence d'atteindre une consommation énergétique minimale au meilleur coût. Elle implique des professionnels comme les architectes, qui ont un accès privilégié aux informations les plus récentes ainsi qu'une expertise et une formation pertinentes à la conception architecturale.

Par contre, le choix des mesures de réfection et d'amélioration des édifices existants incombe à des responsables dont ce n'est pas le métier et ce sont eux que nous avons choisi d'aider en priorité.

L'approche choisie est essentiellement pratique. Elle traite des grands aspects du bâtiment par lesquels le bilan énergétique peut être amélioré :

- **Le contrôle de l'infiltration**
  par les murs ;
  par la voûte ;
  par les fenêtres ;
  par les portes .

- **L'isolation supplémentaire**
  des murs ;
  du toit et des voûtes ;
  des fenêtres et des portes .

- **L'amélioration du système de chauffage**
  le remplacement d'une source d'énergie par une autre ;
  le remplacement ou l'amélioration de la performance des chaudières et des brûleurs;
  l'amélioration du système de distribution de la chaleur;
  les abaissements de températures dans l'édifice entier et dans les différentes pièces.

- **Le contrôle de la stratification dans les nefs**

- **La réduction et l'amélioration de l'éclairage**

Pour chacun de ces aspects, on s'attache à :

- **Situer l'importance** relative de la consommation due à cet aspect.
- **Identifier les indices** qui permettent de juger de la sévérité des pertes à ce chapitre.
- **Inventorier les principales options** de correction possibles.
- **Souligner les limites** des modifications possibles en faisant ressortir aussi bien les conséquences de certaines décisions pouvant s'avérer défavorables à certains points de vue, alors que combinées à d'autres interventions elles peuvent devenir profitables.

-**Indiquer les bénéfices** possibles que l'on peut en retirer et la façon d'évaluer la rentabilité générale de l'opération envisagée ou déjà réalisée.

Église de Saint-Hyacinthe

1. INTRODUCTION

Pour qu'une démarche en vue d'améliorer le bilan énergétique d'un édifice de culte soit réellement positive, il faut respecter certains principes généraux.

CONSERVER LE CARACTÈRE ARCHITECTURAL DU BÂTIMENT

Les édifices de culte, souvent conçus par des architectes de renom et décorés par des artistes, sculpteurs et peintres de même calibre, sont des édifices uniques. Il est important d'en préserver toute la valeur architecturale.

Beaucoup de ces bâtiments ont un passé qui leur confère un caractère historique indéniable, confirmé et protégé officiellement ou non par " **la Commission des édifices historiques**".

L'âge du bâtiment est l'indice le plus important de sa valeur historique probable. On peut considérer qu'un édifice datant de plus de cent ans se classera généralement dans cette catégorie.

La valeur architecturale du bâtiment ne tient pas uniquement à son caractère historique. Certains éléments architecturaux, même dans un bâtiment récent, ont souvent une valeur qu'il faut savoir respecter.

La beauté des formes, l'originalité du style, la relation formelle et visuelle avec l'environnement, la fonction de point de repère tout comme les sculptures et les moulures, les dallages et les colonnes, les fresques et les peintures, les lustres et les vitraux, les boiseries et les meubles, sont autant d'éléments qui contribuent à la valeur architecturale d'un édifice.

Intérieur de l'église de l'Assomption.

Toute entreprise de rénovation et d'entretien doit tendre à préserver ces valeurs qui représentent la culture d'une société. Toute modification doit être soucieuse de la **préservation du patrimoine et du style particulier de chaque église.** La valeur des composantes affectées par la rénovation doit donc être établie au départ.

On devrait vérifier la valeur d'une fresque susceptible d'être repeinte, des portes que l'on souhaite remplacer, des lustres que l'on veut changer et faire appel, si nécessaire, à l'expertise d'un professionel. Les comités d'art sacré des diocèses peuvent aider à l'évaluation du projet envisagé et au choix des professionnels à retenir ou consulter.

IDENTIFIER LES OCCASIONS D'ACTION

Si les rénovations visant l'amélioration du bilan thermique de l'édifice peuvent être un but en soi, elles sont souvent moins coûteuses lorsqu'elles sont combinées à d'autres rénovations rendues nécessaires par la dégradation normale du bâtiment. Il convient donc de se demander, à chaque intervention d'importance que l'on entreprend sur le bâtiment, quelles mesures d'économie d'énergie on peut réaliser en même temps.

Ainsi la réparation de la toiture permettra un accès plus facile à l'entretoit ou rendra possible l'isolation d'une toiture sans entretoit à moindre frais que si elle avait été entreprise séparément.

A beaucoup plus petite échelle, le remplacement d'ampoules défaillantes peut être l'occasion d'en modifier la nature et la puissance.

De même, un rafraichissement de la peinture peut être l'occasion de diminuer le transfert de vapeur d'eau au travers de l'enveloppe en utilisant de la peinture pare-vapeur.

Inversement, certains travaux peuvent empêcher la réalisation de certaines mesures d'économie d'énergie. Il convient donc d'évaluer les conséquences pour le futur de tous travaux envisagés et l'ordre dans lequel ils vont se succéder.

Ainsi un aménagement paysager important et coûteux rend, par la suite, l'isolation des murs de fondation par l'extérieur beaucoup plus difficile puisqu'il faudra détruire, en grande partie, l'aménagement déjà fait. Dans ce cas, il est évident que l'ordre des travaux n'a pas été respecté.

Pour être vraiment efficaces, certains travaux doivent être faits au même moment. Le choix d'une amélioration entraîne parfois d'autres travaux corrolaires que l'on doit prévoir. Aussi, avant de se lancer dans une modification spécifique, il convient d'identifier l'ensemble des composantes de l'immeuble qui sont affectées par cette modification. Pour cela une inspection professionnelle peut devenir nécessaire.

Ainsi le remplacement des luminaires peut nécessiter le remplacement du filage qui les alimente, soit en raison de sa vétusté, soit en raison de la nouvelle puissance qui lui est demandée.

De façon plus subtile, une opération de calfeutrage efficace peut susciter une augmentation de l'humidité intérieure et entraîner, pour la ramener à un niveau ac-

ceptable, des travaux importants et non prévus.

Ces remarques et ces exemples sont loin d'être exhaustifs. Ils procèdent en grande partie du **bon sens** et peuvent sembler évidents. Il faut donc de la vigilance.

IDENTIFIER LA PERTINENCE DES OPTIONS

Sans nécessairement couvrir toutes les possibilités pour tous les cas, cet ouvrage décrit les problèmes et les solutions les plus typiques et courantes. Or, la connaissance que les responsables ont de leur bâtiment leur permet d'éliminer à priori beaucoup d'options et de se concentrer sur ce qui est plausible. Plus vite on établit les limites des actions possibles, plus utiles vont être les études et les débats.

Isoler des murs de pierre massifs ne peut que changer radicalement l'apparence intérieure ou extérieure de l'édifice et lui faire perdre son caractère architectural. Étudier cette option ne peut qu'entraîner une perte de temps et d'énergie.

IDENTIFIER LA RENTABILITÉ DES OPTIONS

Obtenir le coût d'une rénovation envisagée est relativement facile. Il est plus complexe d'établir si cette rénovation en vaut vraiment la peine. Certaines rénovations s'imposent sous peine de dégradation à court terme du bâtiment, mais les travaux menant à une diminution des coûts d'énergie ne paraissent pas toujours nécessaires. C'est leur rentabilité qui les rendent intéressants, indépendamment de toute considération écologique ou sociale.

Pour déterminer la rentabilité des travaux qui économisent l'énergie, il faut faire une évaluation des économies futures et comparer ces économies avec le coût des travaux à effectuer.

Cette estimation peut être plus ou moins complexe suivant les aspects dont on veut tenir compte. Il faut, à tout le moins, demander des estimés aux divers soumissionnaires ainsi qu'une évaluation de l'augmentation de rendement prévisible et en vérifier le bon sens. Dans les cas douteux, l'expertise d'un architecte ou d'un ingénieur peut éviter d'entreprendre des travaux coûteux sans réduction importante de la consommation.

De plus, le suivi, année après année, de la consommation de l'édifice permet de juger, après coup, de l'utilité des travaux entrepris.

RECUEILLIR LES INFORMATIONS UTILES SUR L'ÉDIFICE

Que ce soit pour vérifier si la consommation énergétique est normale ou excessive, pour identifier la source des pertes calorifiques majeures, ou encore pour estimer les économies de consommation possibles, il faut avoir des **données** sur l'immeuble et sa consommation.

Les diagnostics et les estimations seront d'autant plus précis que l'on sera à même de fournir aux spécialistes les informations pertinentes.

Il convient donc de définir et mettre en place un mode de relevé continu des postes de consommation énergétique et, quelquefois, du comportement thermique du bâtiment.

Evaluer la rentabilité de réduire la consommation d'éclairage est presqu'impossible si on n'a ni les factures d'électricité affectées à l'éclairage, ni les données sur la puissance installée et les heures d'utilisation.

Projeter l'installation à la voûte de ventilateurs à basse vitesse (hélices), sans avoir un relevé continu des températures à diverses hauteurs, peut mener à des travaux parfaitement inutiles en plus d'être coûteux.

DÉFINIR UN PLAN D'ACTION

Sans privilégier une seule façon de procéder (chaque institution a sa propre structure et ses propres habitudes), il faut toutefois mentionner que toute action bien menée nécessite un responsable, chargé de penser, de contrôler, de coordonner et de fournir aux instances décisionnelles toutes les informations nécessaires aux décisions.

Une information suffisante et juste est nécessaire pour prendre de bonnes décisions et éviter les mauvaises.

Il faut d'abord établir un plan d'action décrivant la succession des travaux à faire et ensuite s'assurer que l'ordre adopté est logique et qu'il respecte les priorités d'intervention.

S'assurer, surtout, que l'on ne devra pas défaire plus tard ce que l'on vient de faire par manque de prévoyance. Ceci inclut, bien sûr, les travaux eux-mêmes, mais aussi les choix esthétiques de style et de couleur qui doivent rester harmonisés à travers le temps et dans tous les aspects du bâtiment.

Penser enfin que la programmation des travaux dans le temps doit respecter, à la fois, l'urgence des travaux, leur ordre d'importance et la capacité financière de l'année.

2. L'INFILTRATION

2.1. Vue d'ensemble

Les pertes d'énergie dues à l'infiltration d'air froid l'hiver sont certainement celles qui sont les plus **difficiles à évaluer** quantitativement et les plus changeantes dans le temps.

Cependant on peut estimer, en moyenne, que **30% à 50% du chauffage compense l'infiltration. C'est donc une partie importante des économies possibles.**

C'est aussi une des pertes d'énergie la plus **facile et la moins coûteuse à corriger** puisqu'il suffit, en général, d'un bon calfeutrage et de bons coupe-bise pour y remédier.

» Les causes de l'infiltration

L'infiltration est due à la pénétration directe de l'air extérieur vers l'intérieur, à travers des **fissures** dans l'enveloppe.

Si cela occasionne un refroidissement de l'atmosphère, donc une charge supplémentaire sur le chauffage, il faut penser qu'autant d'air chaud sort par ces mêmes fissures.

Cette "exfiltration" est plus grave encore puisqu'elle véhicule l'humidité interne à travers l'enveloppe où elle risque de se condenser et de détériorer la structure. Aussi devrait-on corriger en premier les problèmes d'infiltration et d'exfiltration, étant donné leur importance dans le maintien de la stabilité de l'enveloppe, aussi bien que leur rentabilité.

Ces fissures peuvent être nécessaires comme dans le cas des **parties ouvrantes** de l'enveloppe, fenêtres et portes.

Elles peuvent aussi être dues à des **percements** dans la continuité des matériaux comme l'installation des prises électriques ou des sorties de plafonnier.

Elles peuvent aussi survenir suite à des **changements dans la forme** des matériaux :

- Si bien construite que soit l'enveloppe, les fissures se développent au gré des années par le tassement général du bâtiment qui suscite l'ouverture des joints entre des matériaux durs comme la pierre.

- Les changements de température et d'humidité de l'air entraînent des dilatations et des contractions dans les matériaux, particulièrement si ceux-ci sont de nature végétale comme le bois.

- Les changements de contraintes peuvent modifier différemment les matériaux. Ainsi les parties porteuses vont se tasser plus que les parties de remplissage et des fissures peuvent apparaitre entre les deux. C'est fréquemment

le cas aux jointements entre les colonnes et les murs extérieurs.

» Les endroits de pénétration

Les infiltrations seront donc plus fréquentes aux **jonctions** de quelque nature qu'elles soient:

- Jonction entre matériaux comme la jonction entre les fondations et les murs, entre les murs et les fenêtres.

- Jonction entre des changements de contraintes comme entre les colonnes et le remplissage.

- Jonction entre des parties mobiles et des parties fixes comme entre les portes et les fenêtres et leurs cadres ou aux trappes d'accès.

- Jonction entre les appareils électriques et l'enveloppe, les fils, les gaines ou les tuyaux et les murs.

- Jonction avec des parties modifiées où les percements et les rajouts sont souvent faits sans penser à l'étanchéité de l'ensemble.

» La détection des infiltrations

Evaluer l'importance de l'infiltration peut se faire très simplement quand il fait très froid. Il suffi de **glisser la main** dans les endroits **proches des sources** possibles d'infiltration.

L'infiltration sera alors d'autant plus évidente que les fissures seront exposées aux pressions du vent. On choisira donc des jours venteux de préférence pour mener cette inspection.

Pour un meilleur diagnostic, certains spécialistes utilisent des poires à fumée, disponibles chez quelques distributeurs d'équipement de sécurité pour une centaine de dollars. Les poires à fumée permettent d'identifier les infiltrations mais aussi les exfiltrations (échappement d'air) quand la fumée est aspirée et disparaît. On peut aussi observer les mouvements d'un papier mouchoir.

NOTE:

La sensation de froid peut être due à une infiltration d'air mais peut aussi être confondue avec un refroidissement de la surface intérieure en raison d'un pont thermique dû à une discontinuité dans l'isolant. L'un se détecte par rapport à l'autre, par un mouvement d'air apparent dans le cas d'une infiltration et par l'absence de mouvement dans le cas d'un pont thermique.

» Les indices généraux

Le coût élevé du chauffage en hiver ainsi que la **sécheresse** de l'air ambiant constituent de bons indices pour évaluer l'importance de l'infiltration. Plus l'air intérieur se renouvelle rapidement, plus vite il perd l'humidité acquise.

Cependant, relativement à sa taille, une église possède peu de sources d'humidité. Par conséquent, l'air y est plus sec que dans un autre type de bâtiment.

Un autre indice d'infiltration est certainement la **pénétration de la neige** en période de

poudrerie ou la **formation de givre** en période de grands vents uniquement.

» Les calfeutrants

Le calfeutrant est un matériau **flexible, collant et consistant.** Il s'agrippe aux matériaux et ferme les joints. Sa flexibilité lui permet d'épouser les mouvements des surfaces sans se fendiller.

Il est disponible sous plusieurs formes et compositions chimiques. Sa performance, sa durabilité et son coût sont très variables. Les critères suivants en déterminent le choix:

- Flexibilité pour s'adapter aux mouvements du bâtiment;
- Adhérence pour coller aux matériaux à joindre;
- Résistance à la déformation pour ne pas fendiller;
- Consistance pour bien remplir les vides;
- Facilité d'application bien que certains nécessitent des apprêts;
- Compatibilité avec les apprêts et les surfaces de contact;
- Durabilité pour ne pas perdre ses qualités avec le temps.

» La notion de pare-air

Tout le contrôle de l'infiltration repose sur la notion de pare-air.

Un pare-air n'est pas un matériau mais une fonction de l'enveloppe qui est d'empêcher l'air de passer au travers de l'enveloppe. Elle doit assurer une résistance suffisante aux pressions du vent ce que n'assure pas, en général, un pare-vapeur.

Par exemple, cette fonction peut être assurée par le gypse de finition en autant qu'il est bien jointé avec des calfeutrants à toutes ses extrémités, en particulier à la structure et aux autres finis.

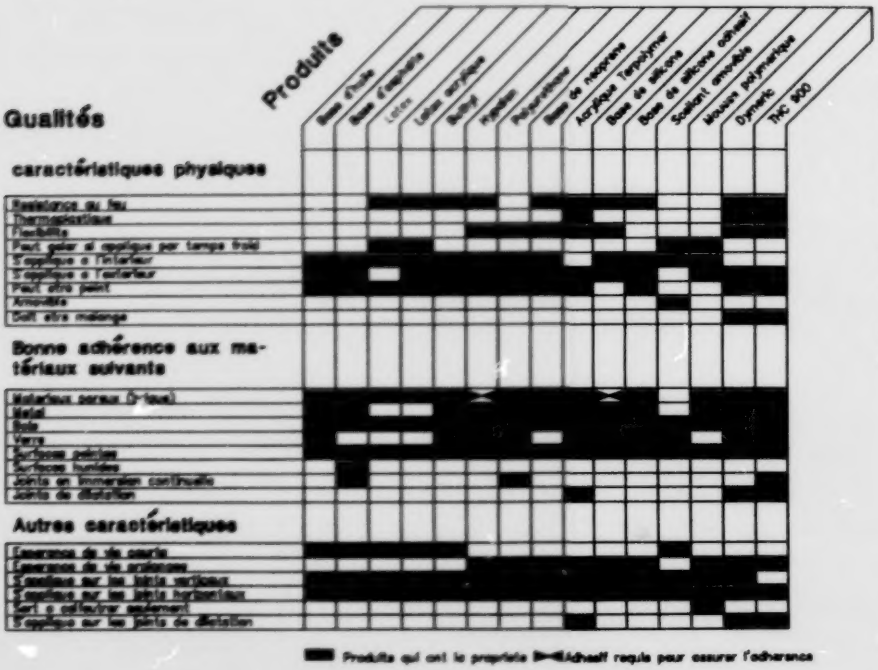


Tableau des caractéristiques des calfeutrants.

2.2. Infiltration par les murs

C'est la source d'infiltration la moins visible en règle générale. On peut cependant porter attention aux divers points suivants :

» Les joints de maçonnerie extérieure

L'examen des finis extérieurs, particulièrement en brique, blocs de béton et pierre, devrait être éffectué de prime abord pour détecter la dégradation des joints. De même, on examinera la continuité des plâtres intérieurs. Des fissures restent toujours un indice de problèmes de comportement de l'enveloppe et peuvent être la source d'infiltrations indues.

Si aucune autre raison que le vieillissement n'explique ces fissures dans les joints, il convient de les faire refaire simplement.

En plus de diminuer les infiltrations, cette mesure est nécessaire pour éviter la pénétration des intempéries dans l'enveloppe et il n'est pas nécessaire d'en évaluer la rentabilité.

La dégradation des joints peut être l'indice de problèmes de transfert d'humidité dans l'enveloppe et leur simple réfection ne mènera qu'à une nouvelle dégradation rapide. Cette humidité peut provenir de l'intérieur si l'air dans le bâtiment est humide, ce qui se manifeste par de la buée ou du givre sur les fenêtres. Elle peut aussi être due à l'infiltration de l'eau de pluie dans l'enveloppe.

» Les joints de maçonnerie intérieure

L'examen rapide des joints intérieurs confirmera et complètera celui des joints extérieurs, en particulier si l'enveloppe est en maçonnerie pleine .

La réfection des joints se fait, en priorité, du côté intérieur afin d'améliorer l'étanchéité de l'enveloppe pour éviter la condensation possible dans l'enveloppe même.

» Les jonctions entre les colonnes porteuses et les murs adjacents

Les colonnes porteuses subissant un effort différent des murs adjacents, il peut se produire des fissures verticales entre les deux. L'examen attentif des jonctions peut le révéler.

Dans pareil cas, il faut refaire les joints intérieurs. Comme ces travaux s'imposent de toute manière, peut importe leur rentabilité.

» Les joints entre les murs et les fondations

Les joints entre les murs et les fondations se font souvent en terme de changement de matériaux, surtout si la structure est en bois. Une température plus basse à cet endroit peut

être le signe d'une infiltration mais aussi d'un pont thermique. Une détection d'entrée d'air avec une poire à fumée ou un papier mouchoir permet de trancher entre les deux.

Une fois de plus, on devra refaire les joints par l'intérieur sans se préoccuper de l'aspect "rentabilité".

» Les prises électriques et les conduits dans les murs

Les prises électriques, les tuyaux ou les conduits ne traversent généralement pas les murs de maçonnerie pleine. Par contre, ils constituent souvent des percées dans l'étanchéité de l'enveloppe, dans les murs en colombage ou en madrier. Une augmentation du mouvement d'air autour de ces éléments est un indice certain d'infiltration.

Il faut alors assurer la continuité du pare-air en calfeutrant autour des tuyaux. Pour les prises électriques, on adoptera des garnitures étanches en surface, sous la plaque de recouvrement.

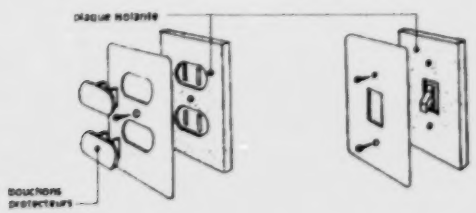


Illustration des garnitures étanches pour les prises et les commutateurs

2.3. Les voûtes et les toits de type "cathédrale"

Le plafond peut être une voûte et comporter un entretoit ou un toit de type "cathédrale".

On appelle ici "toit cathédrale" les toits où le plafond en pente suit la ligne de toit, sans espaces accessibles entre les deux. On utilise le même terme dans le domaine résidentiel.

Dans l'un ou l'autre cas, les méthodes utilisées pour la détection de l'infiltration dans les murs s'appliquent. Cependant, l'examen rapproché des plafonds est plus difficile en raison de la difficulté d'accés. On profitera donc d'une occasion pour le faire.

On peut cependant, dans le cas d'entretoits de dimension assez importante, effectuer un examen de cet espace. Une chaleur anormale de cet espace, en hiver, surtout si la voûte est isolée, peut être l'indice de fuites d'air importantes venant du plafond. Une **condensation** sur la structure et une humidité dans l'isolant sont aussi des indices significatifs.

Toute rénovation du plafond nécessite une vue d'ensemble sur les phénomènes qui interviennent et requiert, au préalable, un diagnostique complet. (Voir le chapitre 3 sur l'isolation des toits et des voûtes).

On doit aussi tenir compte de la valeur artistique des plafonds, souvent le support de peintures et de fresques d'intérêt certain. Le choix du calfeutrage doit en tenir compte.

Un problème particulier aux plafonds est à mentionner :

- De façon générale, les luminaires encastrés dans le plafond doivent être libres d'isolant en périphérie sur 150 mm (6 pouces). Le boîtier doit être ouvert au sommet pour prévenir toute surchauffe de l'appareil. C'est donc une situation par excellence d'infiltration/exfiltration d'air avec autant de pertes énergétiques importantes que de risques graves de condensation dans l'entretoit.

S'il y a condensation, il faut absolument corriger la situation. Cela peut se faire par l'installation de luminaires permettant une isolation contigüe. Cependant, il est préférable d'éviter toute interférence entre ce type de luminaire et l'enveloppe en les abaissant et en reconstituant l'intégrité de l'isolation et l'étanchéité de l'enveloppe.

Si l'enveloppe n'est pas atteinte, il faut évaluer si les pertes énergétiques spécifiques à ces luminaires valent l'impact architectural dû à leur l'abaissement.

2.4. Les fenêtres et les portes

C'est une des sources les plus importantes d'infiltration en général. Il faut distinguer trois sources radicalement différentes d'infiltration:

» L'infiltration par les joints entre le cadre et le mur

L'ouverture pratiquée dans les murs pour une porte ou une fenêtre est toujours plus grande que le cadre. La jonction entre les deux est souvent défectueuse indépendamment de la qualité de la porte ou la fenêtre.

Pour éliminer ce genre de source d'air, il faut ouvrir l'espace en enlevant les moulures et les calfeutrages défectueux, bien remplir d'étoupe, recouvrir d'un pare-vapeur et bien calfeutrer. Ce travail doit toujours être effectué du **côté intérieur** lorsque l'on veut enrayer l'infiltration. Le calfeutrage extérieur est destiné à bloquer l'infiltration de l'eau de pluie.

» L'infiltration par les joints entre les vitres et leur cadre mobile ou fixe

Ceci est particulièrement vrai dans le cas des vitraux où malheureusement, il y a peu de

choses à faire pour l'étanchéisation. Évidemment, on peut consolider le vitrail mais c'est très coûteux et ce sera toujours imparfait en terme d'étanchéité. On pensera plutôt au double vitrage . (Voir le chapitre 3.6. sur l'isolation des portes et fenêtres). Par contre, les fenêtres ordinaires peuvent être remastiquées.

» L'infiltration par la jonction entre les parties mobiles, portes ou battants de fenêtres, et le cadrage

Ceci se corrige facilement par la pose de coupe-bise ou coupe-froid sur les cadres, **côté intérieur**, lorsqu'il y a des doubles fenêtres, de façon à éviter la condensation entre les deux fenêtres (Voir le chapitre 3.6. sur l'isolation des portes et fenêtres).

Dans le cas des fenêtres que l'on n'utilise pas en hiver, on peut faire un calfeutrage saisonnier avec du ruban adhésif appliqué du côté intérieur. Cependant, cette solution peut mener à oublier ces ouvertures de même que les ouvertures condamnées et à les laisser se détériorer. Comme on ne les utilise pas, elles échappent à la vérification des utilisateurs et à l'entretien requis.

La diminution des infiltrations par les portes et les fenêtres peut aussi être obtenue en ajoutant, là où il n'y en a pas, des contre-portes ou des contre-fenêtres temporaires ou permanentes. Cette solution qui augmente en même temps la résistance thermique de l'ouverture, ne doit pas déparer l'apparence architecturale. (Voir le chapitre 3.6. sur l'isolation des portes et fenêtres).

L'économie d'énergie ne justifie jamais le remplacement des fenêtres existantes par de nouvelles. Il faut se rappeller que les fenêtres en bois sont caractéristiques de l'architecture d'église et qu'elles peuvent toujours être réparées. (On peut même changer des membrures pourries pour moins cher que le remplacement par des fenêtres en aluminium).

2.5. Les autres ouvertures

On oublie souvent de vérifier les autres ouvertures dans l'enveloppe comme les trappes d'accès à l'entretoit, les trous dans la voûte pour les lustres abaissables ou pour la lampe du sanctuaire ou encore les fentes pour le courrier. Toutes ces ouvertures doivent être vérifiées et calfeutrées.

Une attention particulière doit être portée aux petits ventilateurs installés dans les murs extérieurs des salles de réunion ou des toilettes pour assurer le renouvellement de l'air. Ils sont souvent une source d'infiltration importante à laquelle on peut remédier de façon simple. Dans le cas des salles de réunion, on installera une boite isolée que l'on n'ouvre que lorsque l'on a besoin de ventiler.

De la même façon les sorties de sécheuses et de ventilateurs disposent de clapets à bascule qui ne s'ouvrent que lorsque l'appareil fonctionne. Il convient de vérifier leur bon fonctionnement et leur fermeture effective.

Types de coupe-bise utilisés pour les fenêtres, les portes et les trappes d'entretoit

Type	Durée	Usage	Installation	Rendement	Observations
Feutre	Faible	Face Joint-pression	Cloué, broché	Inefficace	Se déforme facilement.
Mousses à alvéoles	Élevée	Face Joint-pression	Autocollant Cloué, broché	Inefficace	Peut perdre de la souplesse.
Bourrelet	Élevée	Face Joint-pression	Cloué, broché Vissé	Efficace	Très apparent. Certains produits s'ajustent mieux aux interstices irréguliers, entre la porte ou la fenêtre et son cadre.
A réglage automatique ou à ressort.	Élevée	Face Joint-pression	Vissé	Efficace	Utilisé pour fenêtres à charnières et portes. S'ajuste aux interstices irréguliers entre la porte ou la fenêtre et son cadre. Parfois apparent.
Caoutchouc à alvéoles fermées	Elevée	Face Joint-pression	Autocollant Cloué, borché	Efficace	Résiste bien au gel et au dégel. Garde sa forme d'origine. Ne rétrécit pas, ne craque pas, demeure souple. S'ajuste mal aux interstices irréguliers.
Bandes métalliques en V	Elevée	Rive Joint-pression ou coulissant.	Cloué, broché	Efficace	Se déforme facilement. Durable.
Bandes de vinyle en V	Elevée	Face ou rive Joint-pression ou coulissant.	Autocollant Cloué, broché	Efficace	Disponible en formes, largeurs et épaisseurs différentes. Les bandes de polypropylène résistent mieux à la contraction, au fendillement et sont moins fragiles à des températures plus froides.
Poils de polyester ou de polypropylène	Moyenne	Face ou rive Joint coulissant	Autocollant Broché ou emboité	Relativement efficace	Sert surtout à remplacer les joints des portes et des fenêtres coulissantes. Il faut alors choisir les dimensions disponibles avec ou sans lisières de plastique pour améliorer l'étanchéisation.
Systèmes magnétiques	Elevée	Face Joint-pression	Autocollant Broché, cloué vissé	Relativement efficace	Très apparent. Étanchéisation moindre sous des températures plus froides. Les bandes d'acier doivent être fixées sur des portes ou des fenêtres de bois.
Rubans	Faible	Face du côté chaud	Autocollant	Efficace	Utisisés dans le cadre des portes et des fenêtres qui demeurent fermées durant l'hiver.

2.6. L'aménagement extérieur

Comme l'infiltration d'air froid s'aggrave considérablement sous la poussée du vent, on peut parfois réduire la pression des vents sur le bâtiment par l'aménagement paysager. Cependant, la hauteur même des édifices de culte, l'implantation existante par rapport aux minants, la forme du terrain rendent cette option très dépendante des conditions existantes.

Les **brise-vent** protègent les bâtiments en réduisant la vitesse des vents dominants et par conséquent réduisent la pression de l'air sur l'enveloppe et son infiltration par les fissures dans l'enveloppe.

Il faut donc, en premier lieu, reconnaître la direction des vents de tempête qui viennent en général du nord-est, mais qui peuvent aussi venir d'ailleurs.

Un brise-vent végétal peut ralentir la vitesse des mouvements d'air jusqu'à 80 % de sa vélocité d'origine et ce, sur une distance allant jusqu'à trois fois sa hauteur.

Composé de conifères et de quelques feuillus à croissance rapide, le brise-vent doit résister aux plus fortes bourrasques du site. Les arbres sélectionnés selon leur taille et leur forme à maturité, sont disposés en rangée, légèrement décalés les uns par rapport aux autres pour laisser passer un peu de vent et constituer une barrière deux à trois fois plus large que haute. Si besoin est, des arbustes de petite taille pourront compléter la base du brise-vent. Pour une efficacité optimale, la distance entre celui-ci et le bâtiment varie entre deux et quatre fois sa hauteur.

On doit cependant éviter la plantation de conifères du côté du soleil. Cela donnerait trop d'ombre en hiver.

Près du bâtiment, une protection supplémentaire constituée de haies, de vignes et de petits arbustes peut servir à retenir l'air stagnant et la neige près des murs, réduisant d'autant l'impact des vents froids.

Toute plantation d'arbres près d'un bâtiment doit tenir compte de l'extention des racines qui peuvent endommager les égouts, les fondations ou les drains.

Éviter de planter à moins de 6 mètres de l'édifice certaines espèces végétales comme l'érable argenté, le peuplier, le saule ou encore le frêne.

Les **vestibules** permettent d'assurer une transition entre l'extérieur et l'intérieur et de réduire considérablement l'infiltration d'air. Conçus comme un sas, ils assurent en termes d'isolation une double porte, en autant que la porte intérieure soit fermée, **ce que l'on ne fait pas toujours.** Le franchissement de la deuxième porte ne devrait se faire que lorsque la première est fermée de façon à éviter que l'air extérieur ne pénètre directement dans l'édifice. Laisser la porte intérieure toujours ouverte élimine l'utilité du vestibule.

2.7. Les limites de l'étanchéité

Quoique l'on fasse, il n'est pas possible d'obtenir une étanchéité parfaite. Ce n'est d'ailleurs pas souhaitable. En effet, un renouvellement d'air minimum doit être assuré pour que l'air ambiant demeure sain, exempt d'odeurs, de polluants et d'excès d'humidité. L'humidité provient des matériaux, des activités et des gens qui vivent dans le bâtiment.

Si, dans la construction neuve, il est possible d'atteindre des niveaux d'étanchéité où le renouvellement d'air naturel par infiltration n'est pas suffisant pour les besoins de santé, il est pratiquement impossible que cela arrive dans une rénovation. On peut donc se permettre d'étanchéifier au maximum, au moins dans les grands espaces, sans risquer de problèmes secondaires. Il faut être plus prudent dans l'étanchéification des petites pièces, surtout si elles sont très utilisées. Le renouvellement d'air naturel, par infiltration, peut ne plus être suffisant. Dans ce cas, il faudra y installer une ventilation mécanique qui présentera l'avantage de ne fonctionner que lorsque l'on en aura besoin.

3. L'ISOLATION

3.1. Vue d'ensemble

S'il est assez simple et peu coûteux d'assurer une bonne isolation dans la conception d'un bâtiment neuf, il en est tout autrement dans le cas de la rénovation des édifices existants.

L'isolant n'est pas un fini. Il s'insère **dans** l'enveloppe et cela pose toujours un problème **d'accès**. Généralement, une réisolation nécessite de retirer le fini d'un côté, d'isoler ou de réisoler et de remettre un nouveau fini.

La réisolation est loin d'être toujours **faisable** :

Les murs de pierre, par exemple, ne peuvent être défaits sans entraîner une démolition quasi totale.

Les finis intérieurs supportent souvent des oeuvres d'art, bas-reliefs ou peintures dont la valeur fait partie du patrimoine.

L'augmentation de l'épaisseur de l'enveloppe due à l'adjonction de l'isolant nécessite souvent une assise sur des fondations plus larges.

Lorsqu'elle est possible, la réisolation n'est pas toujours **souhaitable** :

L'isolation coupe l'enveloppe en deux parties distinctes, l'intérieur et l'extérieur, l'une chaude, l'autre froide. Une enveloppe non isolée présente un gradient de température relativement linéaire entre l'intérieur et l'extérieur. Introduire un isolant du côté intérieur entraîne un **refroidissement de tout ce qui est du côté extérieur à l'isolant** et des contractions ou des dilatations de parties de l'enveloppe qui n'ont pas été prévues pour çà. C'est le cas des vieux murs de pierre massifs.

En changeant le régime de température dans les constituants de l'enveloppe, l'isolation modifie les lieux possibles de **condensation** de l'air chaud et humide qui traverse toujours, plus ou moins, l'enveloppe. Dans certains cas, il peut y avoir des problèmes d'humidité excessive et une dégradation accélérée. On ne peut donc pas dissocier la pose d'isolant de celle d'un pare-vapeur, sans risques importants.

Lorsque possible et souhaitable, la réisolation est loin d'être toujours **rentable**:

Si le coût de l'isolant lui-même est relativement bas, l'ensemble des opérations pour le poser en augmente considérablement le coût effectif (démolition des finis, installation des

supports pour tenir l'isolant et pose d'un nouveau fini).

Il faut noter, aussi, que la réduction des déperditions en fonction de l'épaisseur de l'isolation n'est pas linéaire. Si le premier pouce d'isolant réduit d'une quantité X les pertes par conduction, le deuxième pouce les réduira de $X/2$, le troisième de $X/3$ et ainsi de suite. Plus on isole, moins l'isolation est rentable. Aussi, s'il est avantageux d'essayer d'isoler un bâtiment qui ne l'est pas du tout, il est beaucoup moins certain que ce le soit dans un bâtiment déjà isolé. On peut même dire qu'il n'est généralement pas rentable de réisoler des murs qui sont déjà un peu isolés.

Malgré tout, l'isolation, partout où elle est possible, demeure un moyen très important de réduire la consommation énergétique.

3.2. Recommandations générales sur le choix, la quantité et la pose de l'isolant

L'industrie des matériaux isolants est en pleine expansion. De nouvelles marques, de nouveaux produits arrivent sur le marché chaque année avec de nouvelles qualités. Il est donc prudent de s'informer précisément sur les nouveautés au moment de prendre des décisions, afin d'éviter de faire la mauvaise expérience d'une technologie nouvelle qui n'a pas encore fait ses preuves.

Cependant, on distingue actuellement les principaux types d'isolant qui suivent:

- **L'isolant en vrac** pour utilisation sur les surfaces horizontales;
- **L'isolant en matelas** qui se pose entre les montants des murs de colombage ou entre les solives de plafond;
- **L'isolant en panneaux rigides** qui s'applique sur des surfaces unies et agit souvent comme pare-vapeur;
- **L'isolant giclé** qui se souffle dans les cavités ou sur des surfaces;
- **L'isolant soufflé** qui s'applique dans les cavités.

La valeur d'un isolant indique sa capacité à ralentir les déperditions de chaleur. Elle se mesure en RSI (système international) ou en R (système impérial).

Les normes d'isolation du Règlement sur l'économie de l'énergie dans les nouveaux bâtiments (REENB) s'appliquent aux bâtiments neufs. Cependant, elles permettent d'évaluer le niveau à atteindre dans les travaux de réisolation, compte tenu des contraintes mentionnées précédemment.

(Pour plus de renseignement, communiquer avec la Direction Générale de l'Inspection du Ministère du Travail du Québec).

Tableau général des caractéristiques des isolants

Nom.	Résistance Thermique RSI/mm (R/po)	Résistance au feu	Résistance à l'eau.	Stabilité dimensionnelle.	Principales applications	Notes Complémentaires.
Isolants rigides						
Polystyrène expansé T.I.	0.026 (3.7)	Médiocre à bonne	Bonne	Médiocre à bonne	Mur exposé Mur de sous-sol	Un revêtement faisant barrière au feu est exigé.
Polystyrène expansé T.II	0.028 (4.0)	Médiocre à bonne	Bonne	Bonne à moyenne	Mur exposé Mur de sous-sol	Un revêtement faisant barrière au feu est exigé.
Polystyrène refoulé	0.036 (5.0)	Médiocre à bonne	Excellente	Bonne	Mur exposé Mur de sous-sol	Un revêtement faisant barrière au feu est exigé.
Fibre de verre	0.031 (4.4)	Bonne à excellente	Excellente	Excellente	Mur exposé,de sous-sol et toit plat	irritant pour la peau lors de manipulation
Polyuréthanne	0.042 (6.0)	Médiocre	Bonne	Médiocre à bonne	Mur exposé Mur de sous-sol	Un revêtement faisant barrière au feu est exigé.
Mousse phénolique	0.031 (4.4)	Excellente	Bonne	Bonne	Mur exposé Mur de sous-sol	Se brise facilement à la manipulation
Liège	0.026 (3.7)	Médiocre à bonne	Médiocre	Bonne	Mur exposé Mur de sous-sol	Usage décoratif surtout
Isolants en nattes						
Fibre de verre	0.022 (3.1)	Bonne à excellente	Excellente	Excellente	Entretoit, Mur exposé et de sous-sol	irritant pour la peau lors de manipulation
Laine de roche	0.023 (3.3)	Bonne à excellente	Bonne	Bonne à moyenne	Entretoit, Mur exposé et de sous-sol	irritant pour la peau lors de manipulation
Isolants giclés						
Polyuréthanne	0.042 (6.0)	Médiocre	Bonne	Médiocre à bonne	Entretoit, Mur exposé et de sous-sol	Les caractéristiques varient selon l'application
Urée-formol	0.018 (2.6)	Bonne	Médiocre à passable	Médiocre	Mur Toit	Interdite depuis le 17 décembre 1980
Mousses polymériques	0.019 (2.7)	Médiocre	Bonne	Médiocre à bonne	Mur Toit	Conçues pour de petites surfaces.
Isolants injectés (cavités creuses)						
Fibre cellulosique	0.025 (3.6)	Passable à excellente	Passable à bonne	Bonne	Mur(cavité).Entretoit sans accés	Tassement
Fibre de verre	0.015 (2.1)	Bonne à excellente	Bonne	Bonne à moyenne	Mur(cavité).Entretoit sans accés	Tassement
Laine de roche	0.019 (2.7)	Bonne à excellente	Bonne	Passable à moyenne	Mur(cavité).Entretoit sans accés	Tassement
Polyuréthanne	0.042 (6.0)	Médiocre	Bonne	Médiocre à bonne	Mur(cavité).Entretoit sans accés	Les caractéristiques varient selon l'application
Urée-formol	0.018 (2.6)	Bonne	Médiocre à passable	Médiocre	Mur(cavité).Entretoit sans accés	Interdite depuis le 17 décembre 1980
Mousses polymériques	0.019 (2.7)	Bonne	Bonne	Bonne	Petites cavités	Coût élevé
Polystyrène granulé	0.020 (2.8)	Médiocre à bonne	Bonne	Bonne	Mur(cavité).Entretoit sans accés	Léger tassement Appliquation peu courante
Isolants en vrac (épandus)						
Fibre de verre	0.021 (3.0)	Bonne à excellente	Bonne	Excellente	Entretoit avec accés	irritant pour la peau lors de manipulation
Laine de roche	0.021 (3.0)	Bonne à excellente	Bonne	Moyenne à bonne	Entretoit avec accés	Irritant pour la peau lors de manipulation
Vermiculite	0.016 (2.3)	Excellente	Passable à bonne	Bonne	Entretoit avec accés	Certains produits ignifuges sont corrosifs
Fibre cellulosique	0.024 (3.4)	Passable à excellente	Passable à bonne	Bonne	Entretoit avec accés	Tassement
Polystyrène granulé	0.020 (2.8)	Médiocre à bonne	Bonne	Bonne	Entretoit avec accés	Peu fréquent
Bran de scie	0.017 (2.4)	Médiocre	Passable à bonne	Bonne	Entretoit existant	Enlever avant de réisoler

Composantes	R.S.I. (R)
» Plafonds	5,3 - 7,1 (30-40)
» Murs de maçonnerie avec isolant rigide.	2,9 - 3,9 (17-22)
» Murs exposés à l'extérieur sur plus de 50%	3,4 - 4,5 (19-26)
» Murs de fondation exposés sur moins de 50%	2,2 (13)
» Périmètre d'une dalle sur le sol, chauffée	1,6 - 2,5 (9-14)
» Périmètre d'une dalle sur le sol, non chauffée.	1,2 - 2,5 (7-14)
» Sous-sol chauffé séparé d'un espace non-chauffé	2,2 (13)
» Plancher exposé, structure de solives à 12"ou16"c/c	4,7 (27)
» Plancher exposé, dalle de béton ou pontage d'acier	2,9 - 3,9 (17-22)

Tableau des valeurs R.S.I. du Règlement sur l'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments s'appliquant aux édifices de culte.

La pose de l'isolant devra faire l'objet d'une attention particulière relevant la plupart du temps du bon sens.

- Il faut éviter que l'air froid extérieur ne pénètre à l'intérieur de l'isolant. En particulier, si l'air extérieur atteint le côté chaud de l'isolant, ce dernier ne sert plus à rien. Il faut donc s'assurer que l'isolant est bien fixé à son support et qu'il n'y a pas de fissures permettant le passage de l'air à travers l'isolant.

- Il faut aussi disposer l'isolant de façon uniforme et éviter l'entassement ou une répartition inégale de l'épaisseur, ce qui diminue considérablement son efficacité globale et peut amener la création de ponts thermiques dans les parties où il en manque par rapport au reste.

- Une fois posé, l'isolant doit être maintenu en bon état et on doit conserver sa continuité;
  - Éviter de déplacer ou de couper l'isolant lors de l'installation des circuits électriques ou de tout autre service.
  - Ne pas noyer les appareils d'éclairage dans l'isolant pour qu'ils ne surchauffent pas lorsqu'ils n'ont pas été conçus pour ce type d'installation. Mieux, éviter les appareils encastrés qui doivent être gardés libres de tout isolant en périphérie et au sommet.

La pose d'un isolant nécessite normalement celle d'un **pare-vapeur** afin d'empêcher la vapeur d'eau de traverser la paroi vers les zones froides où elle peut se condenser et par conséquent, faire pourrir la structure et mouiller l'isolant qui perd alors ses propriétés.

Le pare-vapeur est un élément souvent indispensable qui doit absolument être placé du côté chaud de l'enveloppe. Un pare-vapeur de type I (feuille d'aluminium ou ployéthylène de 0,15 mm) doit être installé directement sous le revêtement intérieur de façon à ce que les joints se chevauchent d'au moins 10 cm. Ces joints et toutes les fissures du revêtement intérieur seront scellés avec un calfeutrant compatible avec le type de pare-vapeur utilisé.

S'il est impossible d'installer un pare-vapeur du côté intérieur de l'enveloppe, on peut procéder de deux façons:

1. Assurer une étanchéité aussi grande que possible du côté **intérieur** de l'enveloppe en calfeutrant toutes les fissures possibles et en appliquant deux couches de peinture à l'huile

ou de peinture pare-vapeur sur le fini intérieur. Cette peinture empêchera le transfert d'humidité de l'air ambiant vers l'isolant.

Elle devrait être renouvellée tous les 8 à 10 ans dans le cas où la production d'humidité est faible, ce qui est généralement le cas, et à tout les trois ans dans le cas contraire.

2. Il est cependant possible d'installer un pare-vapeur du côté **extérieur** du fini existant ou d'un mince isolant, déjà en place, sans causer de problèmes, à la condition d'ajouter suffisamment de nouvel isolant du côté extérieur du pare-vapeur. C'est le cas, par exemple, d'une voûte qui n'a pas été isolée ou qui l'est très peu et que l'on isole ou réisole parce qu'elle est très accessible. Cependant, c'est un gros travail qui se doit d'être minutieux.

En effet, lorsque l'on fait les calculs de gradient de température, on s'aperçoit que l'on ne peut le faire que si on rajoute du côté extérieur deux fois plus d'isolant que du côté intérieur du pare-vapeur. La probabilité de condensation devient alors minime.

Il faut, en plus, calfeutrer complètement le fini intérieur.

3. Dans une église, où il y a généralement peu de sources d'humidité, on peut envisager la possibilité d'abandonner la pose d'un pare-vapeur s'il n'y a vraiment aucune humidité venant du sol ou du sous-sol. C'est le cas de l'isolation des voûtes où souvent il est difficile d'installer un pare-vapeur. En l'absence d'humidité, ce n'est pas absolument nécessaire.

NOTE: Le pare-vapeur et le pare-air.

Comme nous l'avons déjà mentionné, le pare-air assure l'étanchéité à l'air alors que le pare-vapeur assure l'étanchéité à la vapeur d'eau. Les deux sont donc étanches mais pas de la même façon. Un pare-air, comme le gypse, n'est pas forcément étanche à la vapeur d'eau. Un pare-vapeur, par contre, sera étanche à l'air, mais souvent pas assez résistant à la pression mécanique du vent. (C'est le cas du polyethylène).

Les deux fonctions sont indubitablement liées et doivent être pensées en même temps. Aussi, quand on isole, on en profite toujours pour refaire l'étanchéité, ce qui est plus facile que lorsque l'enveloppe est fermée.

Les exigences du Règlement sur l'économie de l'énergie dans les nouveaux bâtiments peuvent être utilisées comme guide dans les bâtiments existants en ce qui concerne les techniques de pose de l'isolant, du pare-vapeur et du pare-air.

3.3. L'isolation des murs de fondation

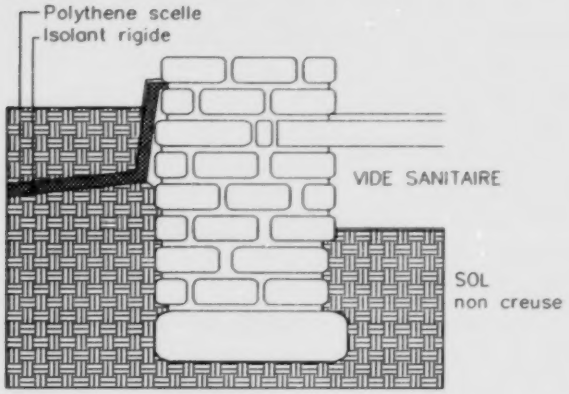
L'isolation des murs de fondation est relativement dispendieuse. Elle ne doit donc être considérée qu'après des mesures moins onéreuses. Elle peut être faite du côté intérieur ou extérieur de la fondation. Les deux cas sont très différents. De plus, elle peut concerner un sous-sol chauffé ou un vide sanitaire, ce qui, là encore, est très différent. Nous examinerons donc successivement chacun des cas possibles.

3.3.1. Cas des sous-sols chauffés et habités

a. Isolation du côté extérieur

L'application de l'isolant du côté extérieur permet de conserver les fondations au chaud, ce qui les protège contre la détérioration due au gel. Aucun effet secondaire n'est à surveiller.

En appliquant l'isolant du côté extérieur, on empêche toute infiltration d'humidité provenant du sol, ce qui aurait pu être détectée par le soulèvement de la peinture intérieure ou par des marbrures brunes.



Isolation des fondations peu profondes

Par contre, l'application de l'isolant du côté extérieur nécessite d'ouvrir le sol sur toute la périphérie, ce qui peut être coûteux.

Dans le cas des fondations massives isolées de l'extérieur ou non isolées, les abaissements de température (voir page 48) ne sont utiles que pour de longues périodes (plusieurs jours), parce que la masse thermique (voir page 48) des fondations agit directement sur l'espace intérieur en retardant les changements de température.

b. Isolation du côté intérieur

L'application de l'isolant du côté intérieur est plus délicate.

Il faut d'abord que le mur de fondation soit **parfaitement sec et le sol bien drainé** en périphérie. Sans cela, il faudra éliminer, d'abord, les sources d'eau ou oublier cette option.

En effet, l'isolation du mur de fondation de l'intérieur entraîne un refroidissement de toute la masse du mur en arrêtant le transfert de chaleur de l'intérieur vers le sol. Il s'ensuit que le mur peut geler dans sa masse où toute trace d'eau va se transformer en lentille de glace et dilater la maçonnerie, la pierre ou le béton. Le résultat peut être catastrophique, particulièrement pour les fondations en pierre et on n'y prêtera jamais trop d'attention.

Dans le cas de l'isolation des fondations par l'intérieur, les abaissements de température (voir page 48) sont avantageux, même pour de courtes périodes (plusieurs heures). En effet, l'isolation de l'intérieur réduit beaucoup les échanges de chaleur entre les fondations et l'espace intérieur et, par conséquent, la masse thermique (voir page 48) des fondations ralentit peu les changements de température intérieure.

On peut utiliser différentes méthodes d'isolation. Par exemple, l'emploi du polyuréthane giclé, dont le facteur de résistance thermique par pouce d'épaisseur est élevé, permet une excellente adhésion de l'isolant à son support et reste un bon moyen d'atteindre des endroits difficilement accessibles et de redresser les surfaces irrégulières.

Les isolants rigides comme le polystyrène ou l'uréthane sont pare-vapeur par eux-même. La laine minérale, par contre, nécessite la pose d'un pare-vapeur du côté chaud et d'une membrane (tel un feutre asphalté) de l'autre côté pour préserver la laine de l'humidité du mur.

Pour respecter le code national du bâtiment, les mousses plastiques devront être recouvertes d'un matériaux coupe-feu tel le gypse ou le stucco. Cette mesure permet d'éviter la propagation rapide des gaz toxiques provenant de la combustion de ces isolants en cas d'incendie.

3.3.2. Cas des sous-sols non chauffés et des vides sanitaires

a. Isolation du côté extérieur

Dans le cas d'un sous-sol non chauffé ou d'un vide sanitaire, on peut isoler de l'extérieur pour les mêmes raisons que pour un sous-sol chauffé. Il reste que le mur de fondation est moins profond et l'excavation plus facile. On pourra alors installer un petit chauffage dans le vide sanitaire, ce qui maintiendra la température du plancher à un niveau acceptable.

On peut aussi laisser les tuyaux de chauffage du rez-de-chaussée chauffer le vide sanitaire par leur propre déperdition de chaleur. Dans ce cas il y a un risque que les radiateurs ou les bouches de chauffage les plus éloignées de la fournaise puissent devenir ou rester plus froides que les autres, les pertes étant proportionnelles au chemin parcouru.

Si le problème existait déjà, il sera probablement réduit quelque peu par l'isolation du vide sanitaire.

b. Isolation du côté intérieur

Pour envisager une isolation de l'intérieur, les fondations ne doivent pas être en pierre.

Si elles sont en béton, leur profondeur dans le sol doit dépasser 4'-6", pour qu'elles soient sous la ligne de gel.

Note:

Souvent, les vieilles fondations, même dans les grandes églises, ont moins de 4'-6". Dans ce cas, il ne faut absolument pas isoler de l'intérieur et il est même recommandable de ne pas modifier les conditions de chauffage de ces fondations sans une analyse approfondie par un professionnel. Ceci inclut les pertes de la chaudière actuelle, si c'est le cas, qui constituent un apport de chaleur au vide sanitaire. Un changement du régime des températures, par isolation ou par modification des performances de la chaudière, entraine un danger de déplacement des fondations et de déformations structurales.

L'isolation par l'intérieur peut se faire au plafond du sous-sol ou du vide sanitaire. On considère alors le plancher du rez-de-chaussée comme un plancher exposé et il doit être isolé en conséquence. Il faut alors s'assurer que toute canalisation, eau chaude domestique ou chauffage, soit incluse du côté chaud de l'isolant. Dans la plupart des cas, cela est suffisamment complexe pour rendre préférable une isolation des fondations par l'extérieur.

Dans le cas de fondations peu profondes, l'isolation par l'extérieur et le chauffage du vide sanitaire est la seule façon d'améliorer la situation. Si ce n'est pas possible de le faire, on doit s'en tenir au statu quo.

3.4. L'isolation des murs extérieurs

Comme on a pu voir, l'isolation des murs n'est pas nécessairement faisable, souhaitable ou rentable.

On peut envisager l'isolation des murs dans les cas suivants :

- Si leur construction se rapproche de la construction domiciliaire, c'est-à-dire des colombages ou des madriers comme structure, de la brique ou de la planche à déclin à l'extérieur.

- Si les finis intérieurs ou extérieurs peuvent être altérés, soit en raison de leur absence de valeur, soit en raison de leur état de dégradation avancée, l'isolation n'est envisagée, généralement, qu'à l'occasion de rénovation importante, comme la réfection de la brique ou des finis intérieurs.

On ne peut pas isoler les murs dans les cas suivants :

- Si ce sont des structures de pierre ou des murs de maçonnerie pleine, si communes à nos édifices de culte.

- Si les finis intérieurs et extérieurs sont de grande qualité architecturale ou encore en excellent état.

Dans le cas d'une construction en bois (madrier ou colombage), on peut se rapporter aux très nombreuses publications sur l'isolation des bâtiments résidentiels.

3.5. L'isolation du toit et des voûtes

Le toit peut être du type **toit thermos** ou **toit cathédrale**, c'est-à-dire constitué d'une enveloppe d'une seule épaisseur, ou encore **toit ventilé** ou à **entretoit**, c'est-à-dire formé de deux éléments, le plafond ou la voûte et le toit, les deux séparés par un entretoit auquel on a accès.

Un toit thermos peut avoir pour structure des chevrons ou une dalle de béton ou encore un pontage de madrier. L'isolation consiste à retirer le fini intérieur, lorsque celui-ci est sans

valeur architecturale, ou le fini extérieur, lorsque la toiture doit être refaite. On rajoute, alors, l'isolant approprié. Le mieux serait d'isoler du côté intérieur en ajoutant un isolant rigide en panneaux, un pare-vapeur et un nouveau fini que l'on calfeutrera parfaitement. Mais ceci laisse entendre que le fini intérieur était inesthétique et que l'on compte l'améliorer.

C'est pourquoi l'isolation de ce type de toiture n'est généralement envisageable que lors d'une réfection du toit.

L'isolation d'un toit ventilé se fait par l'entretoit, sur le dessus du plafond ou de la voûte. L'emploi d'un isolant ayant fait ses preuves, comme la fibre de verre, est préférable aux isolants comme la vermiculite ou la cellulose, souvent trop instables pour être employés de façon sûre. Si toutefois on utilise l'isolant en vrac pour la voûte, il faut veiller à éviter le glissement de celui-ci vers les côtés bas de la voûte au détriment des parties les plus hautes et de la ventilation de l'entretoit.

On doit absolument **assurer la ventilation** d'un entretoit isolé pour y renouveller l'air et:

- Éliminer l'humidité qui, par temps froid, pourrait se condenser sur les surfaces froides de l'entretoit ou sur l'isolant lui-même et former de l'eau ou de la glace;
- Éliminer l'humidité produite par des infiltrations d'eau d'un toit qui coule en attendant les réparations nécessaires.
- Éliminer, en été, l'accumulation d'air surchauffé et assurer ainsi des conditions plus fraiches sous le plafond.

On recommande généralement, pour les toits à pignon résidentiels, un pied carré d'ouverture libre de ventilation pour chaque 300 pieds carrés de surface isolée. Pour les églises ce chiffre semble un maximum.

Pour vérifier si la ventilation est adéquate, il suffit d'aller dans l'entretoit durant la période de chauffage, préférablement lorsque la température extérieure est basse. La formation de givre sur les éléments de structure ou l'accumulation d'humidité sur l'isolant indiquent un manque de ventilation. Il faudra alors installer les évents nécessaires.

Les évents doivent être choisis en respectant le style du bâtiment pour ne pas déparer l'apparence de la toiture ou son caractère historique.

De plus, les évents et en particulier les chatières doivent empêcher la pénétration de la neige ou accumuler temporairement la neige sans endommager l'isolant et le plafond.

On devra aussi veiller, dans le cas de la ventilation du comble en périphérie de la toiture, à ce que les ouvertures ne soient pas bouchées par l'isolant et que le mouvement d'air se fasse sans entrave dans tout l'entretoit.

On rappelle que l'étanchéité du plafond doit être assurée avant de procéder à l'isolation de celui-ci. Ainsi, le calfeutrage des fissures et l'examen de l'éclairage encastré, tel que nous

l'avons mentionné dans le chapitre sur l'infiltration, doivent être faits en priorité. La combinaison d'une exfiltration d'air avec de l'isolation produit, **à coup sûr**, une condensation importante.

3.6. L'isolation des portes et des fenêtres

L'isolation des fenêtres et des portes est de nature entièrement différente. Avant d'examiner ce qui est possible, il faut mentionner qu'une grande partie des pertes de chaleur proviennent de l'infiltration ou de l'exfiltration d'air. De plus, il est souvent difficile de "rénover" une fenêtre ou une porte. Leurs déperditions de chaleur provenant de leur ajustement, de la nature de leur cadre, de leur installation et d'une foule de détails, leur remplacement pur et simple est souvent la solution la plus facile. Cependant, les fenêtres de bois sont caractéristiques de l'architecture d'église, comme nous l'avons déjà dit, et il est toujours plus économique de les réparer que de les remplacer, même en tenant compte des économies d'énergie dues au remplacement.

La qualité architecturale des fenêtres et même des contre-fenêtres est une partie importante de la qualité architecturale de l'ensemble du bâtiment et leur remplacement par des fenêtres ou contre-fenêtres d'aluminium est souvent désastreux pour l'apparence de l'immmeuble.

Tous les efforts doivent être faits pour garder l'aspect d'origine. La plupart du temps, la réparation des cadres permet de conserver les fenêtres; sinon, on veillera à choisir comme nouvelles fenêtres des modèles proches, esthétiquement, des anciennes, ce qui est nettement plus coûteux que les fenêtres d'aluminium de bas de gamme.

Il est donc important de mesurer le degré de détérioration de ces composantes du bâtiment, avant de dépenser trop d'argent dans leur réfection.

» 3.6.1. Le cas des portes

Les portes principales d'un édifice de culte représentent souvent une valeur architecturale et financière qui rend leur remplacement coûteux. S'il le faut, on peut corriger des défauts d'ajustement en remplaçant les cadrages seulement, pour y installer des coupe-bise.

Les **portes secondaires**, de dimensions et formes normales peuvent, par contre, être changées pour des portes de métal isolées à un prix plus raisonnable si, toutefois, elles n'ont pas une valeur esthétique ou historique importante. La rentabilité de l'opération ne va probablement se justifier que si la durée de vie de la porte touche à sa fin. Le seul gain thermique ne le justifiera probablement pas. Seule la pose de coupe-bise reste rentable en soi.

Par contre, l'installation d'une contre-porte, d'un vestibule ou d'un tambour peut être très utile pour réduire les pertes, assurer un meil-

leur confort à l'entrée, et une plus grande sécurité. Cependant pour qu'un vestibule fonctionne comme tel, la porte intérieure doit être tenue fermée.

La contre-porte ne peut être envisagée pour une entrée publique, étant donné les difficultés de manoeuvre qu'elle soulève. Elle devrait être réservée aux entrées privées. On doit utiliser plutôt un vestibule ou un tambour.

L'installation des contre-portes peut se faire à l'extérieur ou à l'intérieur de la porte actuelle. Chaque option a des avantages et des inconvénients auxquels il convient de penser :

- A l'extérieur

La contre-porte extérieure permet de protéger la porte existante des intempéries, mais elle nécessite quand même un bon calfeutrage de la porte intérieure pour que l'air intérieur, chaud et humide, ne vienne pas s'infilter entre les deux portes et se condenser sur la porte extérieure.

Par contre, la contre-porte extérieure change l'apparence extérieure de l'entrée et on doit porter une attention particulière à son intégration au style du bâtiment.

- A l'intérieur

La contre-porte intérieure assure l'étanchéité à l'air et conserve l'apparence extérieure de l'entrée. Il reste à assurer son intégration à la décoration de l'édifice.

3.6.2. Le cas des fenêtres

Le cas des fenêtres est plus complexe. La fenestration est souvent assurée par des vitraux dont on ne peut aucunement améliorer le bilan thermique en dehors du calfeutrage. On calfeutre alors entre le vitrail et son montant de bois. Rien ne peut être fait pour le vitrail lui-même, à moins que son renchaussement soit devenu nécessaire pour éviter qu'il ne tombe. Si ce n'est pas le cas, la seule option réalisable reste alors celle de l'installation d'une contre-fenêtre. Là encore, son installation peut se faire du côté extérieur ou intérieur.

- A l'extérieur

La contre-fenêtre extérieure assure une protection contre le vandalisme et la protection de la fenêtre originale ou du vitrail contre les intempéries. Pour cela, il est préférable, d'opter pour un vitrage incassable ce qui peut occasionner une baisse de la prime d'assurance. En pratique, l'utilisation des contre-fenêtres extérieures est la seule solution à l'isolation des vitraux.

Comme pour les portes, l'air qui s'échappe par la fenêtre continue à le faire et se trouve bloqué par la contre-fenêtre. Celle-ci, n'étant pas chauffée par l'air intérieur, est plus froide et peut entraîner la condensation de l'air humide et même se couvrir de givre, ce qui accélère sa dégradation. La contre-fenêtre

extérieure est donc à déconseiller lorsque l'on a ou que l'on veut une atmosphère humide à l'intérieur. Heureusement, c'est rarement le cas dans une église.

Les contre-fenêtres existantes, en bois, sont souvent assez perméables à l'air pour ne pas susciter ce problème. Leur remplacement par des contre-fenêtres d'aluminium, beaucoup plus étanches, aggraverait la situation, en plus de susciter des problèmes esthétiques. Mieux vaut réparer et repeindre ces contre-fenêtres.

Avec une contre-fenêtre extérieure, il faut calfeutrer parfaitement la fenêtre originale intérieure ou garder une certaine ventilation de l'espace entre la fenêtre originale et la contre-fenêtre extérieure. La ventilation doit se faire vers l'extérieur.

- A l'intérieur

La contre-fenêtre intérieure permet d'éliminer tous les risques de condensation possible entre les fenêtres. Par contre, elle n'assure plus la protection des fenêtres existantes. Or, dans notre climat, un vitrail ne peut résister longtemps s'il 'n'est pas protégé contre les intempéries.

Dans les deux cas, il faut penser aux conditions de nettoyage, car l'espace d'air entre les deux fenêtres ne peut jamais être totalement étanche. Il faut que l'ouverture ou l'enlèvement des vitrages soit facile pour leur entretien.

Le vitrage simple, double ou triple représente un choix souvent proposé.

› Le vitrage simple

En plus de ce qui précède, il faut mentionner, que le vitrage simple entraîne une perte de chaleur très importante et des risques de buée ou de givre du côté intérieur, presque à coup sûr.

› Le vitrage double

Le vitrage double diminue considérablement l'importance des pertes de chaleur tout en éliminant, lorsqu'il est bien posé, les risques de condensation ou de givre durant l'hiver. Il est donc, à priori, très recommandable et rentable. C'est pourquoi, il est considéré comme la norme habituelle pour tous les types de bâtiments.

› Le vitrage triple

Plus on isole, moins l'isolation est rentable. Voilà pourquoi le passage au triple vitrage diminue les pertes énergétiques de façon beaucoup moins importante que le passage au vitrage double. Une étude de rentabilité s'impose donc si on envisage cette option et rien n'assure que le résultat soit positif. Tout au plus le sera-t-il sur des fenêtres orientées au Nord dans les presbytères.

› Les vitres thermos

Les vitres thermos représentent une alternative au vitrage double et n'offrent que des avantages lorsque c'est possible de les installer. Des vitres thermos sont des doubles vitrages et l'espace d'air qui les sépare est scellé. Aucune

condensation ne peut donc survenir entre les verres, étant donné que l'air ne peut y pénétrer. Cette option est donc à retenir en priorité lorsque l'on change des fenêtres. Par contre, changer les vitres actuelles pour des vitrages thermos n'est pas toujours possible sans changer le cadre ou le chassis.. L'épaisseur d'un thermos n'est pas la même que celle du verre en place. De plus, assurer une étanchéité parfaite entre les verres n'améliore pas celle du cadrage. Il est plus sage d'assurer à l'ensemble existant, fenêtre et contre-fenêtre, un niveau d'efficacité équivalent à l'ensemble des composantes de la fenêtre (étanchéité du cadrage, résistance thermique du cadrage, résistance thermique des vitrages seuls ou combinés, étanchéité des coupe-bise, étanchéité et résistance thermique du jointement entre le cadre et le mur).

› Les types de verre

Les types de verre sont un autre objet de décision. Si le verre normal, clair, est la norme courante de toutes les fenêtres sur le marché, il existe des verres aux caractéristiques particulières qui peuvent présenter un intérêt.

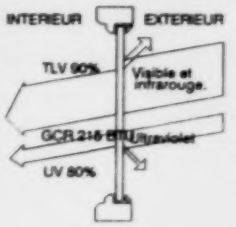
Chaque type de verre peut être évalué en fonction de sa résistance thermique globale (U), de son coefficent de transmission du rayonnement solaire et de son coefficient d'absorption de ce rayonnement.

Le verre réfléchissant ou **verre miroir** a un coefficient de transmission faible qui lui permet de refléter vers l'extérieur les rayons solaires. Il a pour conséquence de diminuer grandement les gains énergétiques dus au soleil en été. C'est avantageux pour diminuer la surchauffe à cette période de l'année. Par contre, il a un effet déplorable sur l'apparence de l'édifice et il est à déconseiller.

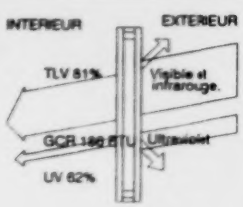
Le verre absorbant ne réfléchit pas le rayonnement solaire mais l'absorbe plus que les autres. Il atteint donc partiellement l'objectif du verre réfléchissant sans en avoir les inconvénients esthétiques. Par contre, son échauffement au soleil est souvent inégal en hiver et lui fait subir des stress importants qui peuvent mener au bris. Il n'est pas à recommander particulièrement.

Le verre à basse émissivité agit de façon opposée au verre réfléchissant. Il laisse pénétrer le rayonnement solaire comme les autres verres mais réfléchit la chaleur et la maintient plus efficacement à l'intérieur. La résistance thermique d'un vitrage thermos dont un verre est à basse émissivité, est à peu près celle d'un verre triple. Dans le cas où l'on choisit de conserver les cadrages, le choix d'une vitre à basse émissivité peut se révéler avantageuse. Là encore, on veillera à maintenir un niveau relativement uniforme d'efficacité des différentes composantes de la fenêtre.

Caractéristiques des vitrages

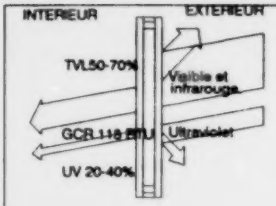


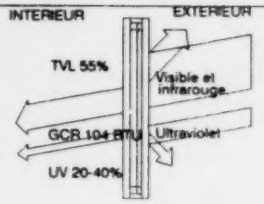
1. Vitrage simple



2. Vitrage double et thermos

	-1-	-2-
U été	1.1	0.62
U hiver	1.1	0.56
Humidité relative	11%	36%
Facteur solaire	87%	81%

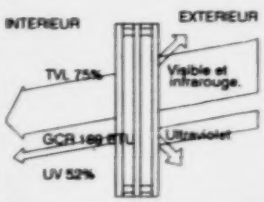


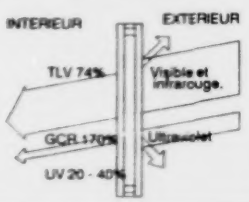


5. Double vitrage à faible émissivité type Sunbelt

6. Vitrage double à verre réfléchissant type Caloriverre 66

	-5-	-6-
U été	0.30	0.29
U hiver	0.37	0.25
Humidité relative	46%	65%
Facteur solaire	46%	34%

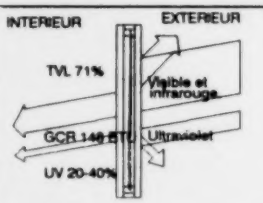


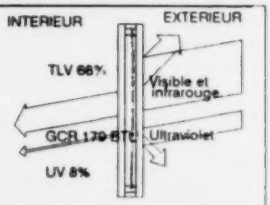


3. Vitrage triple

4. Double vitrage à couche de faible émissivité

	-3-	-4-
U été	0.45	0.41
U hiver	0.38	0.37
Humidité relative	49%	49%
Facteur solaire	75%	63%





7. Verre double réfléchissant de type Caloriverre 88.

8. Verre de type Tripane

	-7-	-8-
U été	0.30	0.42
U hiver	0.26	0.36
Humidité relative	63%	45%
Facteur solaire	54%	66%

LÉGENDE:

U : Valeur de la quantité de chaleur qui passe à travers le vitrage par degré de différence de température. C'est l'inverse de la résistance thermique. Il varie légèrement entre l'été et l'hiver.

Humidité relative: Valeur maximum du niveau d'humidité intérieure possible sans provoquer de condensation sur la surface intérieure de la fenêtre.

Facteur solaire : Pourcentage de l'énergie solaire frappant la fenêtre qui la traverse.

TLV : transmission de la lumière visible.

GCR : gain de chaleur relatif ou quantité d'énergie gagnée quand la fenêtre est exposée au soleil.

UV : ultraviolet. On indique le pourcentage de transmission de ces rayons.

4. LES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE

4.1. Vue d'ensemble

› Les composantes

Les systèmes de chauffage comprennent toutes les composantes qui fournissent, distribuent et contrôlent la chaleur dans le bâtiment.

Ils comprennent la **chaudière** ou source de chaleur qui utilise l'électricité, le mazout, le gaz ou le bois pour produire sa chaleur.

Ils comprennent aussi les **réseaux de distribution** de cette chaleur, soit sous forme d'eau chaude ou de vapeur par des tuyaux, soit sous forme d'air chaud dans des gaines. L'eau ou l'air selon les cas est véhiculé sous pression par des pompes circulatrices ou par des ventilateurs.

Ils comprennent aussi les **radiateurs** ou les bouches d'air qui assurent la diffusion de cette chaleur, une fois arrivée à bon port.

Enfin, ils comprennent les systèmes de **régulation** du démarrage ou de l'arrêt de ces systèmes en fonction de l'heure ou de la température, comme les thermostats simples ou programmables.

› Les systèmes existants

Dans les églises, ces systèmes sont souvent vétustes et ont été installés à des époques où le coût de l'énergie était bas. On peut tracer le portrait suivant de ces systèmes existants:

- Leur efficacité, dans les conditions actuelles, laisse à désirer. L'augmentation du coût des combustibles a forcé l'apparition sur le marché de systèmes plus performants.

- Ils comprennent de nombreuses pièces mécaniques, moteurs, gicleurs, volets automatiques, pompes et autres qui s'usent ou se dérèglent imperceptiblement avec le temps et nécessitent, pour rester performants, un entretien et un réglage continu qui n'est pas toujours apparent pour le propriétaire.

› Les sources d'énergie

- Les politiques énergétiques nationales, les exigences du commerce extérieur et l'évolution de la technologie changent lentement l'équilibre dans la valeur des différentes sources d'énergie. Le mazout, importé au Québec, a vu son prix relatif augmenter comparativement au gaz, ressource canadienne rendue très accessible. Les politiques d'écoulement ou d'approvisionnement des sources d'énergie établissent les prix, les subventions rendant une source soudainement plus avantageuse que l'autre.

› Sérieuses économies possibles

Cela revient à dire qu'il y a une forte probabilité que le système de chauffage soit à vérifier sérieusement et que les économies possibles soient substantielles.

› Principes à appliquer

Contrairement à l'enveloppe, le système de chauffage est une composante du bâtiment toujours accessible, dont on peut contrôler continuellement la durée de fonctionnement, et, parfois, l'intensité. Sa bonne gestion procure une part importante des économies possibles dans un lieu de culte, en appliquant les trois principes suivants:

1- La diminution de la température pendant les périodes d'innocupation des espaces est certainement une des toutes premières mesures de bonne gestion.

2- Le regroupement, dans le temps et l'espace, des activités qui nécessitent du chauffage permet des diminutions de température pendant des périodes plus longues et, si possible, dans certaines parties de l'édifice.

3- L'entretien des équipements par le biais d'un programme planifié et par la formation et l'information du personnel est la façon la plus sûre de faire durer le matériel et de le faire fonctionner à son plus haut niveau de rendement.

4.2. Les sources d'énergie

Elles sont principalement le mazout, le gaz, l'électricité et très rarement le bois ou le charbon.

› Les occasions de changer de source

Quel que soit le système existant, deux occasions peuvent vous amener à changer de source d'énergie :

La facture énergétique, c'est-à-dire le coût élevé de la consommation dans un bâtiment dont l'enveloppe ne présente pas de carences évidentes. C'est le symptôme d'un système inefficace même s'il semble en bon état.

L'importance des réparations, par exemple le remplacement de la chaudière dont l'âge ne permet plus de réparations économiques. C'est l'occasion de remettre en question le type d'énergie utilisée.

› Critères pour changer de source

Toute occasion de changer ou toute étude dans ce sens devrait tenir compte des critères suivants.

Le coût de l'énergie. Le coût relatif d'un type d'énergie par rapport à un autre doit tenir compte du prix réel de l'énergie, des sources de subventions possibles et du coût de la transformation. Tout cela demande une analyse attentionnée puisqu'elle demande une

évaluation économique portant sur plusieurs années. On pourra tenir compte des coûts futurs tant de l'argent que des diverses sources d'énergie. On doit aussi faire attention aux subventions et aux offres "spéciales" qui peuvent disparaître aussi vite qu'elles sont venues, au terme d'une décision gouvernementale ou d'une période de marketing.

L'approvisionnement. Les conditions de l'approvisionnement, principalement dans les milieux ruraux, le type de contrat, la fiabilité des distributeurs locaux et la nature des services permettent de se faire une idée rapide de la situation.

Les considérations sociales. Des considérations sociales ou écologiques sur l'origine de l'énergie ou sur la consommation de produits polluants ou non renouvelables peuvent compléter les critères de choix, mais une analyse objective reste toujours nécessaire.

Note:

Il faut mentionner, en outre, le fait que certaines conversions se font sans retour possible. Ainsi le changement d'une fournaise à l'huile avec distribution centrale pour une fournaise au gaz utilisant le même réseau de distribution peut se reconvertir à l'huile ultérieurement. Par contre, la conversion à un chauffage par convecteurs ou par plinthes électriques rend la reconversion, à toutes fins pratiques, irréversible.

C'est à bien y penser, car la politique de l'Hydro-Québec qui consiste à favoriser l'électricité pour le chauffage domestique, même en période de pointe, ne se poursuivra peut-être pas toujours...

»

Un cas particulier: la bi-énergie

Les systèmes de bi-énergie consistent à utiliser deux sources d'énergie alternatives, en général l'électricité et le mazout. Ils cherchent à résoudre le problème suivant:

Les chaudières permettent de générer une grande quantité de chaleur mais demandent un certain temps de fonctionnement avant de fournir cette chaleur. Il faut en effet réchauffer au préalable la chaudière. Étant donné sa masse, le procédé est assez long. Si la demande de l'édifice est faible, par temps doux ou en demi-saison par exemple, la chaudière va s'arrêter rapidement. On assiste alors à de nombreux arrêts et départs pénalisés à chaque fois par le temps nécessaire de réchauffement.

Les systèmes électriques sont en général de puissance moins élevée mais, par contre, fournissent l'énergie sans délai et sans perte d'efficacité.

Les chaudières sont plus appropriées dans les temps froids nécessitant un apport important et continu, alors que les systèmes électriques le sont plus dans les temps doux nécessitant un apport léger mais fréquent.

Une combinaison des deux systèmes, mis en marche alternativement suivant les conditions extérieures, permet d'utiliser chaque système à son meilleur. Le choix se fait au jugement de l'opérateur ou est commandé automatique-

ment au moyen d'un sonde réagissant à la température extérieure.

Il faut noter que l'inefficacité des chaudières est d'autant plus grande que leur capacité de production est élevée par rapport aux besoins. Aussi, toute amélioration à l'enveloppe du bâtiment, toute réduction des pertes provoque un surdimensionnement de la capacité de la chaudière conçue pour délivrer plus que la nouvelle demande. Une diminution importante des pertes du bâtiment demande donc à réviser le système de chauffage ou à envisager la bi-énergie.

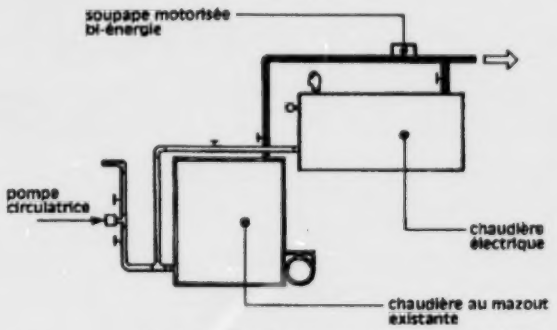
Cependant, le passage à la bi-énergie risque fort de demander une entrée électrique de plus gros calibre ce qui entraîne des frais importants.

La conversion d'un système existant à la bi-énergie varie suivant les sytèmes en place.

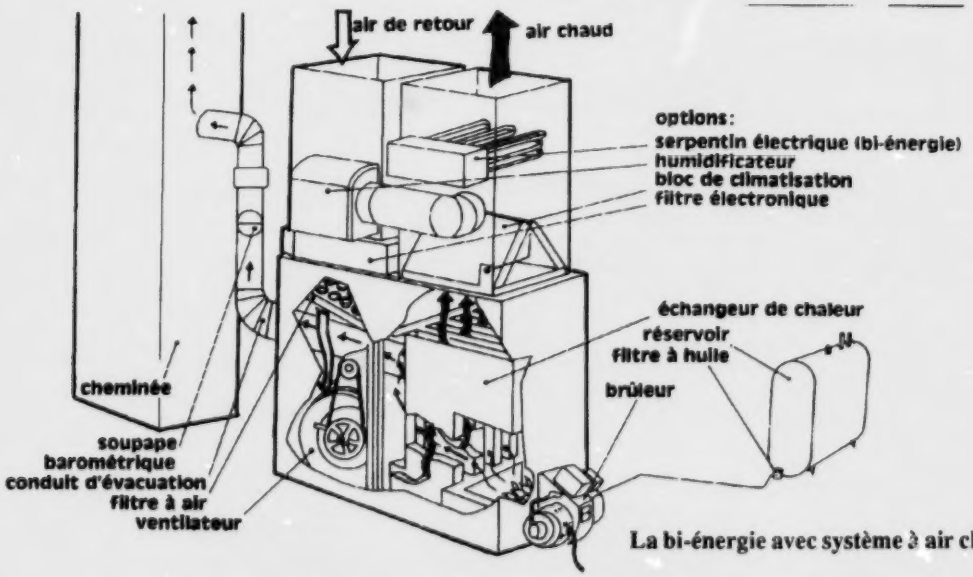
› Conversion d'un système à air chaud à la bi-énergie

Elle s'effectue en plaçant des éléments électriques dans le plénum d'air chaud du système existant. Cette conversion permet en plus de prolonger la vie de la chaudière dans son ensemble en réduisant l'utilisation du brûleur.

L'intervention de spécialistes en électricité et de maîtres-mécaniciens en tuyauterie est requise tant pour les modifications des conduits du générateur de chaleur que pour l'installation électrique.



La bi--énergie avec système à eau chaude



La bi-énergie avec système à air chaud

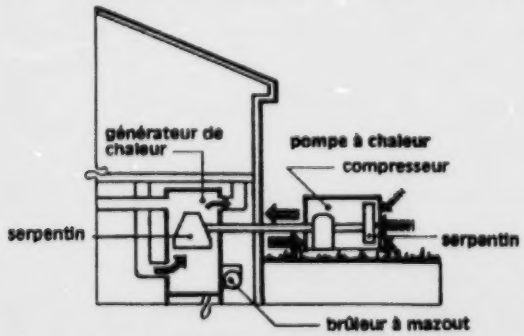
C'est le maître-mécanicien en tuyauterie, spécialiste en air chaud qui devrait installer les déflecteurs d'air, adapter les plénums et placer le chauffe-air électrique, l'humidificateur et le serpentin de refroidissement, s'il y a lieu. Le maître électricien doit vérifier la capacité de l'entrée électrique et compléter les raccords.

› Conversion d'un système à eau chaude à la bi-énergie

Pour faire cette conversion, il suffit de monter en série ou en parallèle avec la chaudière en place un système électrique composé d'un réservoir à eau, d'éléments chauffants et de contrôles.

› L'adjonction d'une pompe à chaleur

Une pompe thermique air-air ou air-eau peut être une alternative à la résistance électrique. Elle permet une efficacité supérieure à 100% et permet aussi bien le chauffage que le refroidissement, mais reste coûteuse d'installation. Sa rentabilité dépend beaucoup des conditions climatiques générales du site et du niveau de demande en énergie électrique. L'évaluation de sa rentabilité demande une expertise spécialisée faite par un ingénieur-conseil indépendant.



La bi-énergie avec pompe à chaleur

› L'adjonction de plinthes électriques

L'ajout de plinthes électriques pour convertir un système central à la bi-énergie est à éviter. En effet, la multiplication des thermostats rend difficile le contrôle des températures et décourage les abaissements de température. De plus, les plinthes électriques ont tendance à accentuer la stratification de chaleur quand les plafonds sont élevés (voir page 41).

Par contre, l'ajout de plinthes électriques comme correctif ponctuel peut être très recommandable. On peut ainsi obtenir une température confortable dans des parties du bâtiment où le système central n'arrive pas à fournir la chaleur nécessaire (voir page 42).

C'est le cas, par exemple, d'un bureau au sous-sol que le système de chauffage ne chauffe pas suffisamment ou qui est utilisé en période d'abaissement de température.

4.3. Les chaudières et les brûleurs

Trois composants forment le système de production de la chaleur :

-Le brûleur-

Il prépare la transformation de la source d'énergie, gaz ou mazout, en chaleur. Il dose et

mélange le combustible et l'air et entretient la combustion.

-L'échangeur de chaleur-

Il assure la transmission de cette chaleur au fluide caloriporteur, eau ou air, qui la distribue dans le bâtiment.

-La cheminée-

Elle permet d'évacuer les déchets de la combustion du gaz ou du mazout. Elle est évidemment inutile dans les chauffages électriques.

Ces trois composants jouent un rôle important dans l'efficacité globale du système de chauffage et demandent à être examinés séparément pour chaque source d'énergie afin de diagnostiquer les pertes d'efficacité potentielles et les améliorations possibles.

› Les tests d'efficacité

Deux facteurs conditionnent l'efficacité des chaudières au gaz et au mazout. D'une part, la qualité de la combustion est fonction de la transformation plus ou moins complète du combustible en chaleur, ce qui nécessite un apport d'air suffisant. Un manque d'air aboutit à la formation excessive de suie ou de monoxyde de carbone. D'autre part, les pertes de chaleur par la cheminée sont accentuées par un excès d'air ou par une mauvaise performance de l'échangeur de chaleur.

L'efficacité de combustion se mesure en évaluant la quantité d'énergie évacuée dans les gaz de la cheminée. Dans ce but, on mesure les paramètres suivants dans les gaz de cheminée:

- **La température.**. Trop chauds, ces gaz véhiculent une perte qui peut être réduite par des réglages ou être récupérée avant évacuation. Pas assez chauds, ils peuvent endommager la cheminée et la chaudière.
- **La quantité d'oxygène ou de bioxyde de carbone**. Trop d'oxygène ou pas assez de bioxyde de carbone dans ces gaz est l'indice d'un excès d'air dans l'alimentation du brûleur qu'un réglage peut corriger.
- **La quantité de monoxyde de carbone et de suie**. La suie pour le mazout et le monoxyde de carbone pour le gaz sont l'indice d'une combustion incomplète.

Un spécialiste en service d'entretien de système de chauffage peut faire ces tests.

Il est donc très important d'effectuer périodiquement des vérifications pour déceler toute anomalie ou tout réglage nécessaire.

» 4.3.1. Le chauffage au mazout

Voici quelques améliorations possibles pour diminuer la consommation de mazout.

› 1 . La réduction de la capacité du gicleur

Le surdimenssionnement du système de chauffage peut avoir été intentionnel ou résulter de l'amélioration de l'enveloppe. Il peut être corrigé en réduisant la capacité du gicleur, ce qui réduit la consommation de mazout.

Le gicleur atomise le mazout en fines gouttelettes qui sont mélangées à l'air par un ventilateur.

En réduisant la capacité du gicleur, l'appareil de chauffage fonctionnera plus longtemps en régime équilibré, après s'être réchauffé. C'est la situation la plus efficace.

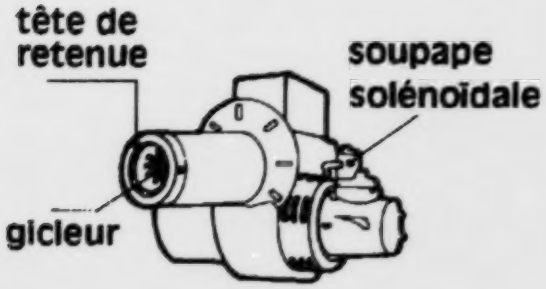
Le préposé à l'entretien du système de chauffage pourra déterminer les modifications à apporter au gicleur en fonction de la consommation antérieure et de la température des gaz d'échappement.

Note:

Une réduction très importante de la capacité du gicleur peut entraîner la nécessité de rapetisser ou de réaménager la chambre de combustion pour éviter que la chaleur produite par la combustion ne soit mal captée par l'échangeur de chaleur.

› 2. L'amélioration ou le remplacement du brûleur

Une tête de retenue de flamme assure un meilleur mélange de l'air et du mazout et augmente la quantité de chaleur produite par litre de combustible. La température des gaz de combustion doit, cependant, dépasser 175°C . C'est pourquoi cette modification peut entraîner l'installation d'un revêtement de céramique à l'intérieur de la chambre de combustion et la réduction du gicleur.



Brûleur au mazout

Une autre mesure consiste à utiliser une "soupape solénoïdale à action différée" qui réduira l'accumulation de suie dans la chambre de combustion.

Quand un brûleur parvient à la fin de sa vie utile, c'est l'occasion de considérer l'achat d'un nouveau brûleur à haute performance intégrant ces deux caractéristiques.

› 3. Un registre de cheminée à commande automatique

L'air nécessaire à la combustion est fourni, en général, par l'air du bâtiment. On pourrait alimenter la combustion par de l'air de l'extérieur au lieu de l'air intérieur déjà chauffé.

Quand le brûleur ne fonctionne pas, l'air chaud accumulé dans la chambre de combustion et l'air du bâtiment s'échappent par la cheminée. L'installation d'un registre à commande automatique dans le tuyau à fumée, entre la soupape barométrique et la cheminée, permet d'éliminer ces pertes. Le registre installé doit être certifié et muni de dispositifs commandant l'arrêt du brûleur en cas de non-ouverture ou de fermeture accidentelle, pour éviter d'enfumer le bâtiment.

Note: La certification authentifiée par ACNOR/CSA est importante pour garantir la sécurité du système.

Cette mesure améliore le rendement saisonnier de tous les types d'appareils de chauffage utilisant le mazout ou le gaz. Les appareils au gaz doivent être munis d'une veilleuse intermittente et doivent parfois être soumis à l'approbation de la municipalité.

» 4.3.2. Le chauffage au gaz naturel

Le chauffage au gaz s'implante de plus en plus au Québec. Il est sécuritaire et son prix est compétitif. Les approvisionnements sont stables, grâce aux réserves canadiennes. La conversion au gaz peut être rentable. Elle peut se faire au moyen de plusieurs types d'appareils.

› 1. Le remplacement du brûleur d'une chaudière au mazout

Remplacer un brûleur au mazout par un brûleur au gaz à soufflerie d'air intégrée et équipé d'un système d'allumage électrique, assure un rendement saisonnier de 65%, rendement comparable à celui d'un système de chauffage au gaz du genre classique.

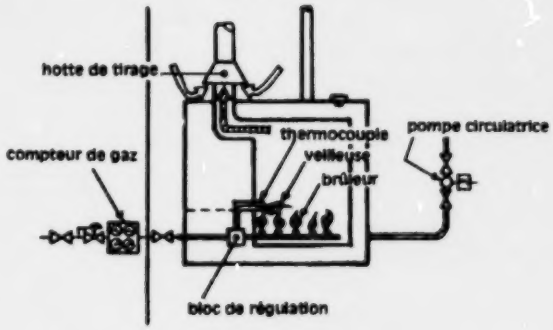
Note:

Cette option paraît rentable si l'on joint l'efficacité de 65% au coût relativement peu élevé du gaz.

› 2. La chaudière à brûleur atmosphérique

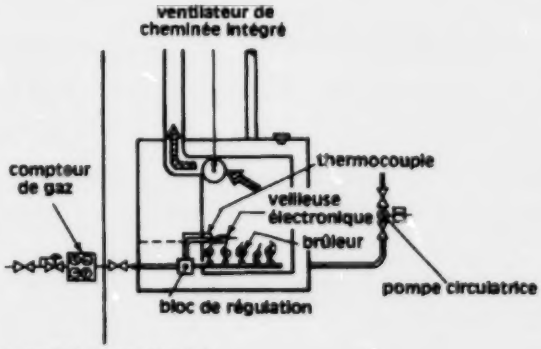
La chaudière à brûleur atmosphérique est très répandue mais moins efficace, car l'air nécessaire à la combustion est aspiré librement dans la chambre de combustion, d'où une efficacité saisonnière de 56%.

Une veilleuse sert à allumer le gaz, ce qui absorbe environ 5% de la consommation annuelle lorsqu'elle reste allumée toute l'année. L'été il est préférable de l'éteindre.



Chaudière à brûleur atmosphérique

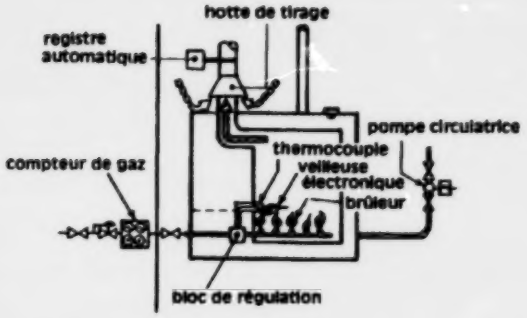
› 3. Le brûleur à tirage induit



Appareil à tirage induit

Ce genre d'appareil possède un ventilateur, qui force les gaz de combustion directement vers la cheminée et comporte un allumage électrique. Plus dispendieux, il assure un rendement saisonnier de l'ordre de 75%.

› 4. L'appareil à rendement amélioré



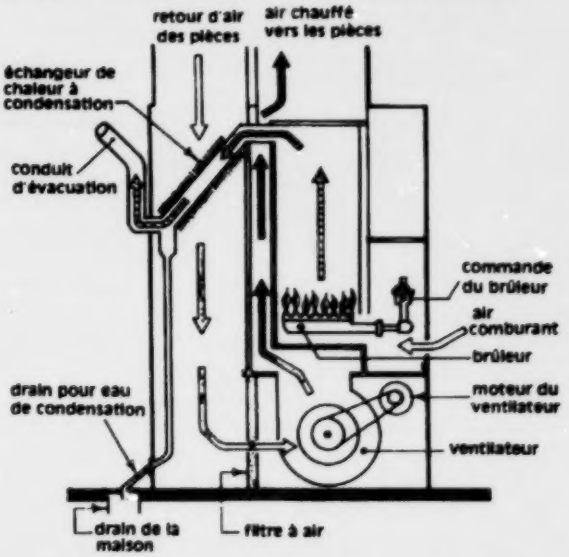
Appareil à rendement amélioré

Cet appareil, doté d'un brûleur atmosphérique, atteint une efficacité saisonnière de 75%, grâce à l'utilisation de l'allumage électrique et d'un registre automatique intégré au conduit d'échappement des gaz qui empêche l'air du bâtiment d'être aspiré dans la cheminée lorsque l'appareil ne fonctionne pas.

› 5. La chaudière à condensation des gaz de combustion

La cheminée y est remplacée par un conduit de ventilation vers l'extérieur d'une part, et un conduit pour la condensation vers l'égout d'autre part.

Elle permet une efficacité saisonnière de l'ordre de 85% grâce à un second échangeur de chaleur qui récupère l'énergie contenue dans les gaz d'échappement avant leur évacuation.



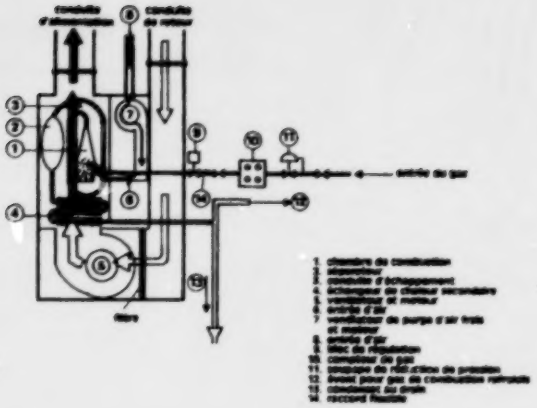
Chaudière à condensation des gaz de combustion

› 6. L'appareil à combustion par impulsion

Ce type d'appareil ne nécessite pas de cheminée. Il est disponible pour les systèmes à air chaud et à eau chaude et permet une efficacité saisonnière de plus de 90%.

La combustion du gaz et de l'air provenant de l'extérieur est provoquée par une bougie d'allumage et produit des gaz de combustion dont la chaleur est récupérée par un échangeur de chaleur. La vapeur d'eau condensée est évacuée à l'égoût par un petit conduit.

Cette option peut être particulièrement intéressante lorsque la cheminée actuelle a besoin d'être reconstruite.



Appareil à combustion par impulsion

Toute installation d'un appareil au gaz naturel nécessite l'examen de la cheminée existante qui doit satisfaire aux conditions requises avant d'installer l'équipement.

Dans certains cas, il suffit, pour éviter une détérioration due au gel et dégel de l'eau de condensation, d'introduire une doublure métallique dans une cheminée en maçonnerie.

4.3.3. Le chauffage électrique

D'une efficacité de 100%, non polluant et sécuritaire, le chauffage électrique surclasse, à ce titre, toutes les autres sources d'énergie. D'installation facile, il requiert peu d'espace en général. Il ne nécessite pas de cheminée et, de ce fait, n'entraîne pas les pertes d'air chaud qu'une cheminée peut occasionner.

Il demande peu d'entretien et une capitalisation souvent inférieure aux autres sources énergétiques. Il exige cependant une entrée électrique d'une grande capacité qui n'est, en général, pas suffisante lors d'une conversion. La réfection de l'entrée électrique accapare une partie importante du budget. A noter aussi que le coût de l'énergie électrique peut être plus élevé que celui d'autres sources.

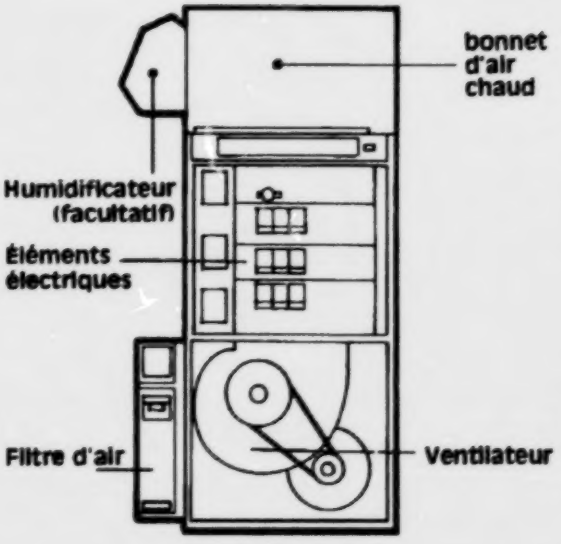
Pour toutes ces raisons, il ne faut pas nécessairement s'attendre à ce que ce type de chauffage soit plus économique que les autres.

Les différents appareils de chauffage à l'électricité peuvent être utilisés sur des systèmes de distribution centrale, à air ou à eau chaude, ou comme source ponctuelle et individuelle.

Voici les principaux types d'appareils sur le marché.

1. Le générateur d'air chaud

C'est une fournaise à air pulsé qui comporte des éléments chauffants électriques, un ventilateur assurant la circulation de l'air et des éléments de contrôle.



Générateur électrique d'air chaud

Elle est conçue pour des systèmes de distribution à air chaud.

› 2. La chaudière électrique

Elle comporte un ou plusieurs éléments électriques qui sont immergés directement dans l'eau pour la chauffer. Elle est conçue pour les systèmes de distribution à eau chaude et prend très peu de place.

› 3. Les plinthes électriques

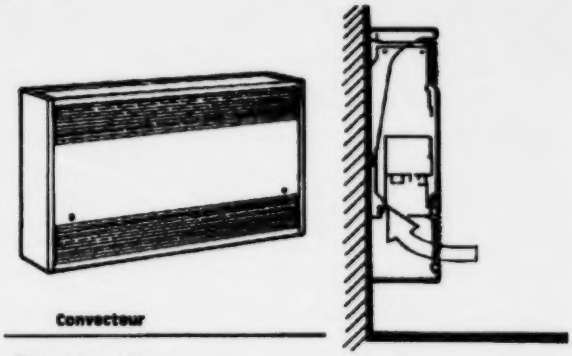
Faciles d'installation, silencieuses, presque sans entretien, les plinthes électriques sont décentralisées. Elles utilisent la convection naturelle de l'air pour distribuer la chaleur. C'est là d'ailleurs un inconvénient puisque ceci tend à accentuer la stratification de chaleur au détriment du confort.

De plus, la décentralisation rend difficile le contrôle des températures dans le cadre de baisses programmées de température.

› 4. Les convecteurs

Ces appareils, également décentralisés, sont plus efficaces que les plinthes électriques. Par contre, ils augmentent le "tirage" de l'air par un effet de cheminée et, de ce fait, brassent mieux l'air de la pièce, ce qui assure une température plus uniforme.

Plus compacts que les plinthes électriques, ils utilisent une moins grande longeur de périphérie de plancher mais une plus grande surface de mur. Leur coût initial est cependant plus élevé.

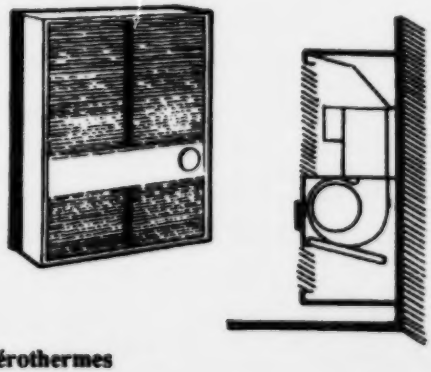


Les convecteurs

› 5. Les aérothermes

Semblables aux convecteurs, ils sont plus efficaces parce qu'ils sont munis d'un ventilateur qui pulse l'air chaud vers le plancher pour assurer une distribution plus égale de la chaleur, d'où un meilleur confort.

Ils sont cependant plus bruyants à cause du ventilate ur.



Les aérothermes

Note. Plinthes, convecteurs et aérothermes électriques procurent du chauffage

décentralisé. Ceci les rends parfaitement adaptés au chauffage d'appoint pour corriger des inégalités de température dans un espace donné. Cependant, la tendance des plinthes et des convecteurs électriques à renforcer la stratification les rend moins appropriés au chauffage de grands volumes.

Individuels, rapides, bénéficiant d'un réglage par thermostat autonome, ils permettent un ajustement de la consommation aux besoins immédiats et locaux qu'il est plus difficile et plus coûteux d'assurer avec les systèmes de chauffage centraux. Ils facilitent la gestion des baisses de température locales en période d'inoccupation.

» 4.3.4. Les chaudières

Les chaudières sont une composante particulière des systèmes de chauffage à eau chaude ou à vapeur. C'est dans la chaudière que l'eau est chauffée avant d'être distribuée dans le bâtiment.

On trouve trois types de chaudières dans les immeubles importants. Les chaudières à tube à feu, les chaudières à tube à eau, et les chaudières électriques. Nous nous attarderons aux **chaudières à tubes à feu**, ce sont les plus courantes dans les édifices religieux.

La chaudière à tubes à feu est un grand cylindre rempli d'eau, traversé par une série de tubes où circulent les gaz chauds issus de la combustion de l'air et du gaz ou du mazout. Les gaz chauffent les tubes qui à leur tour chauffent l'eau. L'efficacité dépend de la qualité du transfert de chaleur entre les gaz chauds et l'eau et peut atteindre 80%.

Plusieurs interventions sont possibles pour améliorer l'efficacité des chaudières à tubes à feu.

› 1. Éliminer les dépôts de suie et de tartre

La présence, sur les tubes, de suie du côté des gaz ou de tartre du côté de l'eau diminue l'échange de chaleur .

Plus le mazout est lourd, plus la suie se forme rapidement. Comme la suie est un très bon isolant, environ huit fois plus que l'amiante, plus la suie s'accumule, moins la chaleur peut se transmettre à l'eau et plus elle est évacuée par la cheminée au lieu d'être utilisée pour le chauffage.

Quand la couche de suie atteint 1,6 mm (1/16 po) d'épaisseur, environ 26% du mazout est gaspillé; à 3,2 mm (1/8 po), c'est 60% du mazout qui est gaspillé.

Une mauvaise qualité de l'eau entraîne un dépot de tartre sur les tubes et une diminution de l'échange de chaleur. Ce dépot se forme particulièrement dans les systèmes à vapeur là où le retour du condensat est insuffisant.

Pour détecter une diminution des échanges due à une accumulation de tartre ou de suie, il suffit de déceler à long terme une augmentation de la température des gaz brûlés à la sor-

tie de la chaudière, tous les autres réglages demeurant constants.

Lors de l'arrêt de la combustion, une inspection visuelle permettra de confirmer la présence de suie. Un nettoyage mensuel est recommandé. A tout le moins, doit-on le faire au début et au milieu de la saison froide.

Diminuer la formation de suie revient à améliorer la combustion au moyen des mesures déjà mentionnées :

- ajuster la quantité d'air de combustion,
- nettoyer et bien choisir le gicleur,
- ajuster et calibrer les réglages.

Pour ce qui est du tartre, c'est la prévention qui est la solution la plus économique.

Dans les systèmes à vapeur, diminuer l'entartrage revient à s'assurer de la qualité de l'eau de la chaudière (dureté, PH et alcalinité).

Dans les systèmes à eau chaude, on peut éviter presque totalement le remplacement de l'eau en installant un réservoir d'expansion et une valve Muller et en s'assurant qu'il n'y a pas de fuites; alors, il n'y a pas à craindre d'entartrage.

› 2. Récupérer la chaleur des gaz de combustion

La température des gaz de combustion à la sortie de la chaudière, une fois les réglages effectués, peut être supérieure à 200°C (400°F), ce qui représente une perte d'énergie par la cheminée.

Un système de récupération de la chaleur par un échangeur permet d'utiliser une partie de cette chaleur à d'autres fins, par exemple, pour le chauffage de l'eau domestique.

De tels systèmes sont cependant sujets à des performances médiocres et à des problèmes d'entretien. Il sont aussi très dispendieux pour des chaudières de la capacité de celles qui chauffent une église.

› 3. Installation de turbulateurs

L'installation de retardeurs de flamme ou "turbulateurs" dans les tubes à fumée de la chaudière permet de ralentir le débit d'évacuation et de faire tourbillonner les gaz. Ceci a pour effet d'améliorer le contact entre les gaz et la paroi des tubes et, par conséquent, d'augmenter les échanges de chaleur.

Pour que cela soit rentable, il faut que le rendement soit déjà très mauvais et ne puisse s'améliorer autrement. Pour que cette mesure soit envisagée, la température des gaz à la sortie **doit** être supérieure à 200 °C ou la chaudière **doit** présenter une surface de chauffe insuffisante pour transmettre la chaleur de combustion. De plus, les gaz de combustion ne doivent pas être trop refroidis pour éviter que les vapeurs corrosives se condensent et endommagent les tubes de la chaudière.

Il faudra aussi s'assurer que la cheminée puisse supporter la condensation des gaz de combustion.

On a donc là une mesure difficile d'application qui demande l'expérience d'un expert.

› 4. Réduction de la vidange

Enfin, dans les systèmes à vapeur, on pourra réduire, dans certains cas, le taux de vidange nécessaire pour maintenir la concentration des résidus dans l'eau de la chaudière en dessous des limites recommandées. Il arrive souvent que la vidange soit trop importante, généralement dans les cas suivants :

- La vidange de boue se fait par la surface, ce qui entraîne une vidange très élevée.
- Le traitement de l'eau est inadéquat et l'encrassement trop rapide.
- L'opérateur est trop méticuleux et effectue plus de vidange que nécessaire.

Un spécialiste pourra faire les mesures et conseiller les traitements d'eau appropriés pour réduire le taux de vidange au minimum.

4.4. Les systèmes de distribution de la chaleur

S'il reste possible de changer le système de production de chaleur, il est beaucoup plus difficile de changer la distribution. En effet, cela nécessite une intervention à l'échelle de tout le bâtiment puisque les réseaux courent dans tous les murs, plafonds et planchers. Tout au plus, peut-on les examiner, là où ils sont apparents, à moins d'une réfection à grande échelle cù l'ouverture des murs permet une rénovation de ces circuits de distribution.

Ceci met en évidence l'importance que l'on doit accorder à la synchronisation des travaux. Ouvrir un mur, pour une raison quelconque, pose nécessairement la question de l'examen de tout tuyau ou gaine de distribution et de son remplacement immédiat, si nécessaire, car l'occasion ne se représentera plus.

Une réfection complète, par contre, permet de tout changer. La conception du nouveau système demande l'intervention et les conseils d'un professionnel en la matière, aussi nous limiterons-nous aux mesures d'amélioration des différents systèmes de distribution.

» 4.4.1. L'isolation et l'entretien des conduits

Beaucoup de pertes peuvent survenir au cours du trajet entre la chaudière et les composantes de distribution, calorifères ou bouches d'air chaud. En principe, il est préférable d'isoler les tuyaux ou conduits d'air lorsque la température entre le fluide (air, eau ou vapeur) dépasse de 5°C la température ambiante de la pièce traversée.

Il faut évaluer chaque cas. En effet, il est possible que les pertes thermiques du réseau constituent la seule source de chaleur pour certaines pièces. Isoler ces canalisations signifie qu'il faudra chauffer ces locaux autrement. C'est le cas des vides sanitaires, des salles de mécanique ou des salles d'entreposage. Isoler les canalisations qui passent par un vide sanitaire peut y entraîner une baisse de température pouvant aller jusqu'au gel et met-

tre en cause la stabilité des fondations ou refroidir de façon excessive le plancher supérieur.

D'autre part, une perte trop importante dans un local habité peut causer une surchauffe désagréable et nécessiter du refroidissement ou occasionner un surplus de déperditions à travers l'enveloppe de ce local vers l'extérieur. Ces cas sont souvent le fait des canalisations principales d'eau chaude.

Pour isoler les gaines d'air chaud, on utilisera un matelas de fibre de verre de deux à cinq centimètres d'épaisseur. Les conduites d'eau chaude seront par contre, isolées avec de l'isolant prémoulé qui s'adapte au diamètre du tuyau ou avec un procédé équivalent.

En plus des pertes par manque d'isolation, d'autres pertes peuvent être occasionnées par des chutes de pression dans les conduits. Celles-ci peuvent venir soit du calfeutrage des joints dans les gaines d'air chaud, soit de la réduction du diamètre des tuyaux d'eau, en raison de leur encrassement. Dans le premier cas, un meilleur calfeutrage corrigera le problème; dans le deuxième cas, seul le remplacement du tuyau est à envisager.

»

4.4.2. Amélioration et transformation des réseaux à vapeur

Dans ce type de réseau, c'est la vapeur d'eau qui sert à transmettre la chaleur dans le bâtiment. Celle-ci circule sous sa propre pression dans des canalisations jusqu'aux radiateurs où elle relâche sa chaleur en se condensant en eau. De là, elle retourne à la chaudière où elle sera, à nouveau, transformée en vapeur.

Des trappes à vapeur sur les radiateurs permettent de régulariser la circulation du fluide. Or, une trappe défectueuse peut laisser s'échapper trop de vapeur dans le conduit de retour au lieu de libérer la chaleur dans la pièce.

Il peut aussi y avoir de l'air et du gaz carbonique dans le réseau de vapeur, en raison de l'addition d'eau nouvelle pour compenser les pertes. Or, l'air se colle aux tuyaux, isole ceux-ci de la vapeur et diminue d'autant leur performance. Le gaz carbonique peut, pour sa part, détériorer les conduits lorsqu'il se change en acide carbonique au contact avec l'eau .

Seul un spécialiste peut diagnostiquer et corriger ce genre de problèmes.

On peut aussi transformer le système à vapeur en système à eau chaude. Cela suppose que la chaudière et le réseau s'y prêtent, ce qui est souvent le cas. Il faut alors enlever les trappes à vapeur des radiateurs, ajouter une pompe circulatrice, enlever le réservoir à condensa-

tion sur le retour et le remplacer par un réservoir d'expansion, rajouter sur l'entrée d'eau un système de protection contre les surpressions (valve Muller), changer les contrôles et ajouter un thermostat intérieur-extérieur.

Cette opération peut rapporter entre 4% et 7% d'économie et prolonger la durée de vie du système. Les pertes d'eau par les fuites de vapeur sont éliminées de même que les problèmes qui en découlent. De façon générale, l'entretien est considérablement diminué.

L'eau circulant à une température plus basse que la vapeur, il y aura moins de pertes d'énergie et un meilleur confort. Cependant, les radiateurs, dimensionnés pour fonctionner à des températures plus élevées, auront une capacité de chauffage réduite.

Les systèmes étant souvent surdimensionnés, une baisse de capacité n'est pas très conséquente, excepté peut-être pour les jours très froids.

» 4.4.3. Amélioration des systèmes à air chaud

› 1. L'alimentation en air

Il faut assurer au générateur d'air chaud (fournaise à air pulsé) une alimentation adéquate en air de retour pour ne pas entraîner une diminution sensible de son efficacité saisonnière.

Pour améliorer cette alimentation en air, nettoyer ou remplacer les filtres à air et dégager les registres qui peuvent être obstrués.

Si l'alimentation en air demeure toujours insuffisante, ajouter un nouveau registre de retour d'air sur le circuit. Ce nouveau registre sera situé à au moins 2 mètres du générateur et ne devra jamais être installé directement sur ce dernier.

› 2. Le ventilateur

C'est le ventilateur du générateur qui assure la circulation de l'air chaud dans le système de distribution de chaleur.

Afin de réduire la perte de chaleur par la cheminée, le ventilateur devra être mis en marche à une température plus basse au début du cycle de chauffage, soit environ 50°C (120°F), et arrêté lorsque la température se sera suffisamment refroidie après l'arrêt du chauffage, soit environ 31°C (90°F). Ainsi le ventilateur entrera en action rapidement après l'allumage du brûleur et fonctionnera encore quelque temps après son arrêt. L'air soufflé dans les pièces sera, cependant, plus frais au début et à la fin du cycle d'opération.

La vitesse du ventilateur devra être ajustée de façon à ce que la vitesse de l'air aux registres d'alimentation ne dépasse pas 150 mètres par minute et 60 mètres par minute aux registres de retour.

» 4.4.4. Amélioration des systèmes à » eau chaude

On peut régler la température de l'eau chaude d'alimentation des locaux proportionnellement aux besoins de ceux-ci, particulièrement

au printemps et à l'automne. On le fera manuellement ou de façon automatique avec un thermostat intérieur-extérieur.

Un tel thermostat détecte la température extérieure et modifie la température de l'eau en fonction de la température extérieure, par exemple, 60°C (140°F) en demi-saison et 82°C (180°F) par temps froid.

L'avantage de ce thermostat est d'éviter le surchauffage, principalement en demi-saison, et d'économiser l'énergie.

»

4.4.5. Zonage des locaux

La distribution peut se faire par plusieurs circuits relativement indépendants les uns des autres à partir de la chaudière. Ils sont alors contrôlés par des thermostats indépendants les uns des autres et le chauffage d'une pièce n'entraînera pas automatiquement celui d'une autre si elle n'est pas sur le même circuit. C'est un système de zonage.

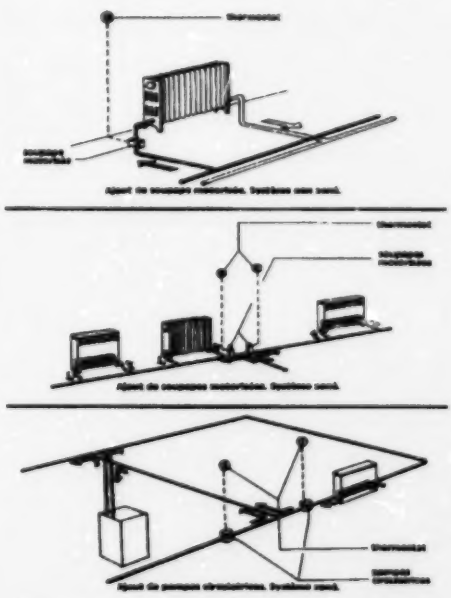
La reconnaissance des groupes de pièces alimentées par le même circuit est primordiale, car tout chauffage d'une pièce de ce groupe entraîne le chauffage de toutes celles du groupe. Or, un zonage inadéquat, conduisant au chauffage de grandes sections inoccupées de l'édifice pour assurer le confort de petites parties occupées, entraîne le gaspillage d'énergie.

Il convient donc de séparer l'alimentation des principales parties de l'édifice comme la nef, la sacristie, les salles de réunions qui ont des heures d'utilisation différentes.

Un diagramme illustrant l'alimentation par le réseau de distribution de toutes les pièces de l'édifice est la seule façon de percevoir le zonage existant comme de juger des changements à y apporter ou des subdivisions possibles.

- Dans un système à air chaud, le zonage peut être réalisé au moyen de volets motorisés installés dans les conduits. Le mouvement du volet est assuré par un moteur relié à un mécanisme de contrôle actionné lui-même par le thermostat de la zone concernée. On peut ainsi contrôler un embranchement par rapport à un autre.

- Dans un système à eau chaude, des soupapes motorisées peuvent contrôler l'alimentation de chaque radiateur individuellement si le réseau permet de fermer un radiateur sans affecter les autres (réseau à 1 ou 2 tuyaux). Ce n'est pas possible si les radiateurs sont en boucle ou en série.



Contrôle du zonage des locaux (système à eau chaude)

4.5. Les abaissements de température

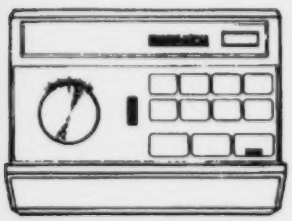
La bonne gestion du système de chauffage, indépendamment de toutes modifications aux divers systèmes mécaniques, peut assurer une économie de consommation substantielle sans que cela ne requière d'investissements particuliers. C'est donc une des toutes premières mesures à adopter.

Le principe de base d'une bonne gestion consiste à ne faire fonctionner un système mécanique que lorsqu'on en a besoin.

En termes de chauffage, cela veut dire ne chauffer un local à la température de confort que lorsque celui-ci est occupé. Chaque degré d'abaissement de la température d'un local diminue l'écart à fournir entre la température interne et externe et diminue d'autant la consommation. Une réduction de 3°C, la nuit seulement, peut représenter jusqu'à 10% d'économie de chauffage de ce local.

› Combien de degrés et quand ?

L'application de ce principe est cependant soumis à quelques limites que l'on doit mentionner :



Thermostat programmable

1. L'abaissement de la température d'un local en période inoccupée doit respecter un minimum de température (voir page 50) et durer une période minimum.

En effet, il faut que la période de chauffage à plus basse température soit suffisante. Il faut donc soustraire à la période de diminution envisagée, le temps nécessaire pour que les pertes normales du local amènent sa température au seuil fixé en période inoccupée et le temps nécessaire pour à nouveau remonter sa température au seuil de confort pour l'utiliser. Si la période d'ajustement à la baisse ne coûte rien, celle à la hausse coûte beaucoup plus que la normale.

On doit donc évaluer un temps de fonctionnement suffisant à température basse pour que cela vaille la peine.

2. La masse thermique du local influence grandement la durée de la période d'ajustement de sa température.

La masse thermique d'un local représente la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° C sa température. C'est une mesure de son inertie en terme de chauffage. Un local de forte masse thermique verra, en l'absence de chauffage, sa température diminuer lentement. Par contre, il faudra le chauffer longtemps pour revenir à sa température initiale. Un local de faible masse thermique verra, dans les mêmes conditions, sa température chuter rapidement mais son réchauffement se fera tout aussi rapidement.

Il y a une relation entre la densité et le volume d'un matériau et sa masse thermique. Plus il est dense et volumineux, plus sa masse thermique est élevée. Aussi peut-on juger, sans mesure ou calcul précis, qu'un sous-sol dont les murs et la dalle sont en béton représente un local à forte masse thermique ou forte inertie, alors qu'une construction de colombage n'entrainera qu'une faible inertie thermique.

L'effet de la masse thermique des fondations est décrit en a et b de la page 22.

Envisager une baisse de température la nuit dans une nef en pierre peut être critique. Le temps nécessaire pour remonter sa température d'un seul degré peut demander plusieurs heures de chauffage continu. Par contre, la même baisse de température dans un bureau sera intéressante, la période d'ajustement à la hausse étant beaucoup plus courte.

Le temps d'inertie de chaque local de l'immeuble peut être évalué facilement par expérimentation. Il suffit, par temps froid, d'abaisser sa température de 2 ou 3°C, puis de remettre un chauffage continu. On mesure alors le temps nécessaire pour gagner chaque degré. Cela permet de juger de l'intérêt d'un régime d'abaissement de température et de la période de temps minimum à envisager.

3. Le zonage du système de chauffage fait que l'abaissement de la température dans une pièce entraîne un abaissement similaire de la température dans toutes les pièces alimentées par le même circuit. Les limites mentionnées précédemment s'appliquent donc à toutes les pièces d'une même zone plutôt qu'à un local en particulier.

De plus on voit bien que la répartition des activités, dans le temps et dans l'espace, doit être en conformité avec le zonage du système de chauffage pour qu'un abaissement des températures soit efficace. Il faut que **tous** les locaux d'une même zone d'alimentation soient inoccupés, en même temps, pour une même durée, pour que cette option puisse s'appliquer.

La gestion énergétique de l'immeuble est donc fortement liée à la gestion de son **usage.** La planification doit se faire aux deux niveaux à la fois.

4. Le niveau de température demandé dans un local est aussi fonction du **confort** que l'on cherche à fournir.

Les exigences de confort varient suivant plusieurs paramètres dont voici les deux principaux :

Le métabolisme ou niveau d'activité des gens. Plus il est élevé, plus la température de confort est basse. Ainsi, une température de 24°C pour une activité sédentaire offre le même confort qu'une température de 20°C pour un niveau d'activité moyen et de 14°C pour la pratique d'un sport violent. On peut donc abaisser substantiellement la température de locaux destinés aux sports.

- **L'habillement** joue aussi un rôle important dans le niveau de confort. Une température de 10°C, pour une personne chaudement vêtue est équivalente à une température de 20°C pour une personne légèrement vêtue. On peut donc aussi abaisser la température des nefs, même en période d'occupation, si tout le monde garde ses vêtements d'hiver.

› Manuellement ou automatiquement?

Les abaissements de température peuvent se faire manuellement ou automatiquement.

Des systèmes de commandes centralisés seront peut-être trop onéreux pour les petits

bâtiments. Alors, il sera préférable de se limiter à des thermostats ajustés manuellement, ce qui implique une attention quotidienne du préposé à l'entretien. Un thermostat programmable, plus coûteux, permet, par contre, d'appliquer un horaire à chaque pièce ou zone et, par exemple, de démarrer la période de réchauffement une heure ou deux avant l'heure d'utilisation prévue. Il faut, quand même, modifier ces réglages suivant la variation des horaires d'utilisation.

Dans les édifices religieux importants, l'installation d'une console de commande centralisée permet non seulement de programmer les cycles d'opération selon l'utilisation et les caractéristiques des pièces et des installations, mais aussi de modifier et d'ajuster ces cycles à la demande.

› Le cas de l'orgue

Certains vastes espaces peuvent nécessiter le maintien d'un certain niveau de température par endroits. C'est le cas de l'environnement immédiat de l'orgue dans une nef si l'on veut préserver sa durabilité et la qualité du son.

On peut songer alors à maintenir localement une température plus élevée par le biais de chauffage d'appoint électrique, convecteur ou plinthe, durant les périodes d'abaissement général de température.

NORMES DES TEMPÉRATURES AMBIANTES RECOMMANDÉES

TYPE D'ESPACE	TEMPERATURE	
	Occupé	Inoccupé
Bureau	21	15 @ 18
Corridor	18	15
Vestibule	10	10
Nef et choeur	17	15
Classe	20	18
Atelier	20	18
Auditorium	20	15 @ 18
Salle de mécanique	13	13

Dans le cas où il ne faut pas descendre en dessous d'une température minimum, comme pour l'orgue, il convient d'installer un thermostat local et un thermomètre pour en vérifier le fonctionnement.

5. STRATIFICATION ET HÉLICES

Une salle au plafond élevé est sujette à l'accumulation d'air chaud dans ses parties hautes. C'est ce que l'on appelle la stratification de chaleur. Cela entraîne une élévation de la température près du plafond et accroit les pertes de chaleur par le plafond et par les verrières.

Les lieux de culte avec leurs plafonds élevés sont prédisposés à la stratification de chaleur, ce qui exige plus d'énergie pour maintenir une température confortable au niveau du sol. Ceci implique une surchauffe de l'air à la hauteur des voûtes.

Les ventilateurs de plafond visent à corriger cette stratification en mélangeant l'air pour en rendre la température plus uniforme, du plancher aux voûtes. Il est ainsi possible de réaliser des économies de chauffage appréciables. Pour cela, il faut respecter certaines conditions d'installation:

»

1. Vérification

En tout premier lieu, il faut vérifier l'existence d'une différence de température importante, c'est-à-ire, au moins 10°C pour une hauteur minimale de 5 mètres. Ceci se fait en mesurant la température au plancher et au plafond dans différentes conditions de température extérieure. Plus précisément, la température doit être prise à 3'-0" du plancher et à 2'-0" de la voûte, ainsi qu'à l'extérieur et ce lors de conditions atmosphériques variables (temps froid, chaud, ensoleillé, venteux ou nuageux et par vent calme) et à différents moments de la journée.

Cette stratification n'existe pas toujours. Souvent, les pertes d'énergie par les murs, les verrières et les plafonds sont tellement importantes que la température au niveau de la voûte est inférieure à celle au sol. Dans ce cas, il est totalement déconseillé d'utiliser des ventilateurs qui ne feraient que ramener l'air froid au niveau des usagers.

Des mesures ont été prises dans une quinzaine d'églises de l'archidiocèse de Montréal. En voici les résultats généraux :

Dans une douzaine d'églises, la différence de température n'était que de 2° C de plus sous la voûte qu'au plancher, même à la cathédrale de Montréal dont la voûte s'élève à 270 pieds au-dessus du plancher. Il n'y a pas lieu, dans ce cas, d'installer des ventilateurs.

Dans deux églises la température de la voûte était inférieure de 2°C à celle du plancher. Il ne faut pas, dans ces cas là, installer de ventilateurs.

Dans deux autres églises, la température de la voûte était de 6° C plus élevée qu'au plancher. Même dans ces cas, il n'a pas été jugé utile d'installer des ventilateurs de plafond.

La différence de température serait certainement plus importante si la voûte était bien isolée et calfeutrée, de même que les murs et les verrières. Plus l'isolation est importante et l'infiltration faible, plus une stratification importante peut survenir et l'installation de ventilateurs présenter des avantages. Ceux-ci peuvent, au mieux, faire économiser 15% de l'énergie consommée par temps très froid. L'économie annuelle est cependant très inférieure à cela.

»

2. Intégration esthétique

Les ventilateurs doivent s'intégrer au décor en se faisant le moins apparents possible. En tout premier lieu, on doit éviter d'endommager la décoration, les moulures et les fresques des voûtes, ce qui s'est produit trop souvent. Lorsqu'il est possible de les installer d'une manière esthétique, on doit choisir une couleur neutre, se fondant avec l'arrière plan, une peinture mate, une position ordonnée et symétrique, au centre du coffrage plutôt qu'à cheval sur une nervure.

Lorsque les plafonds sont peints ou moulurés, l'installation des ventilateurs risque de détruire l'harmonie des espaces. Parfois, il est possible de cacher dans certains espaces verticaux des conduits d'air alimentés par une soufflerie silencieuse, qui ramène l'air surchauffé de la voûte vers le sol.

Cette solution plus onéreuse présente l'avantage de préserver l'aspect intérieur de l'église.

»

3. Efficacité et vitesse de l'air

Pour être efficaces, les ventilateurs doivent déplacer le volume d'air jusqu'au plancher. Cependant la vitesse moyenne de l'air ne doit pas dépasser 10 à 15 pieds par minute, de façon à ce que l'on ne puisse percevoir un courant d'air sous le ventilateur. Le déplacement de l'air ne doit générer aucun mouvement dans les tentures et les lustres.

Pour donner leur plein rendement, les ventilateurs doivent fonctionner durant toute la saison de chauffage. Leur installation doit être faite sous la supervision d'une personne compétente, soit un commercant expérimenté et de réputation fiable ou un ingénieur-conseil en mécanique du bâtiment.

6. ÉCLAIRAGE

6.1. Vue d'ensemble

La consommation énergétique due à l'éclairage est moins importante dans les églises que dans les édifices à bureaux par exemple. Elle représente quand même une dépense suffisante pour que l'on s'en préoccupe.

Là comme ailleurs, le niveau de demande n'a cessé d'augmenter au fil des ans, en concordance avec des exigences de confort de plus en plus importantes. La technologie a évoluée en parallèle et nous offre, actuellement, des appareils d'éclairage qui fournissent un plus haut niveau d'éclairage pour une consommation moindre.

Toute stratégie de réduction énergétique va jouer sur les deux aspects :

- D'une part, contrôler la demande en réduisant l'intensité et la durée de l'éclairage, lorsque c'est possible.

- D'autre part, en choisissant des sources lumineuses plus efficaces, lorsqu'il devient pertinent de les remplacer.

Si la première option peut se comprendre et s'évaluer facilement, certaines précisions doivent être mentionnées pour juger des choix à faire dans le cas de la deuxième option.

Le niveau d'éclairage s'évalue en fonction des tâches à accomplir. Traverser un corridor ne nécessite pas le même niveau d'éclairage que lire. A chaque tâche correspond un niveau optimum et celui-ci se mesure en **lux**, à l'aide d'un petit appareil qu'on appelle un luxmètre.

L'efficacité d'une source lumineuse se mesure par le rapport entre la quantité d'éclairage obtenue (lumen) et l'énergie dépensée pour l'obtenir (watt). Plus le rapport est élevé, plus la source lumineuse est efficace (lumen/watt).

Cependant, l'efficacité n'est pas le seul critère. La qualité de l'éclairage importe aussi. En dehors des qualités esthétiques de l'éclairage, comme sa brillance, son contraste, sa répartition et sa disposition d'ensemble, la couleur de la lumière est très importante. Elle s'évalue en fonction de la lumière naturelle qui est la référence par excellence.

La lumière "blanche" se décompose en un spectre de longueurs d'ondes de diverses couleurs allant du violet au rouge. La lumière solaire est composée d'un pourcentage particulier de chaque longueur d'onde qui assure une vision naturelle des couleurs. Chaque source lumineuse crée un spectre ou une répartition des longueurs d'onde qui lui est propre. Plus cette répartition est semblable à celle du spectre solaire, plus elle permet une vision "naturelle".

L'efficacité d'une source lumineuse n'est pas toujours en rapport avec sa qualité. Certaines, très efficaces, donnent une couleur verdâtre à la peau et modifient beaucoup la perception des couleurs. Les deux aspects du problème devront faire l'objet d'un choix judicieux.

6.2. Réduction de l'éclairage

Pour diminuer la consommation due à l'éclairage, il faut d'abord réduire celui-ci. Cela peut se faire de plusieurs façons.

» 1. Réduire l'intensité.

On peut souvent réduire d'une façon substantielle le niveau d'éclairage des locaux secondaires comme les corridors, vestibules, salles d'entreposage et autres. Cependant, il faut respecter les normes minimales recommandées pour la sécurité. Elles se situent entre 100 et 200 lux.

De la même façon, on peut réduire le niveau d'éclairage des autres pièces, comme les salles de réunion, en fonction de la nature des activités qui s'y déroulent. On devra cependant maintenir un niveau d'éclairage suffisant pour assurer un confort visuel adéquat pour le type d'activité envisagé. Ce niveau d'éclairage se situe entre 50 et 700 lux (voir le tableau en page suivante).

On peut, aussi, zoner l'éclairage des grandes pièces, par des circuits différents. Par ciel clair ou ensoleillé, l'éclairage près des fenêtres peut être éteint alors que celui du reste de la pièce, plus sombre, reste allumé. L'éclairage résultant est plus uniforme tout en étant réduit au minimum. C'est un principe équivalent au zonage du chauffage. Cela présente un avantage uniquement dans des pièces relativement grandes avec des baies vitrées et bien éclairées sur un seul côté.

Certains appareils sur le marché, permettent un ajustement automatique des intensités lumineuses en fonction de l'éclairage naturel. Celui-ci est très variable dans le temps et ces appareils ajustent instantanément l'intensité de l'éclairage artificiel en fonction des fluctuations de l'intensité de l'éclairage naturel.

Enfin, on peut assurer une meilleure répartition de l'éclairage, tant naturel qu'artificiel, par un choix approprié de couleurs pour les finis intérieurs de la pièce. Plus la couleur choisie est sombre, plus la lumière reçue est absorbée par les finis au lieu d'être réfléchie utilement. Des couleurs claires et des finis propres assurent une diffusion plus égale, de la lumière, d'où des sources d'éclairage plus faibles pour le même confort visuel. Cela peut représenter jusqu'à 40% de la consommation électrique de l'éclairage.

»

2. Réduire la durée de l'éclairage

On peut aussi réduire la durée de l'éclairage. Cette option est très semblable à l'abaissement des températures dans le bâtiment et dépend également de la gestion de l'usage des pièces dans le temps.

Cependant, le changement de niveau d'éclairage est instantané et ne nécessite pas de délais comme pour le chauffage. Les deux horaires de mise en route seront donc différents.

Autre fait à noter: la mise en route de l'éclairage peut se faire par l'usager lui-même à son entrée dans un local. Le gaspillage vient donc plutôt du fait que l'on oublie d'éteindre à la sortie.

- Des cellules photo-électriques permettent de couper l'éclairage du hall d'entrée, des corridors ou de tout autre espace de transit lorsque la lumière naturelle suffit.

- Des interrupteurs à minuterie permettent de limiter le temps d'utilisation des luminaires et peuvent s'installer dans les locaux dont l'occupation est d'une durée de temps limitée.

- Enfin, une campagne de sensibilisation des usagers et des affiches permettront de limiter l'éclairage à la durée des besoins seulement. Par exemple: "Éteindre avant de quitter".

On ne doit pas oublier l'éclairage extérieur qui peut représenter une part importante de la consommation électrique.

- Éteindre l'éclairage extérieur lorsque les lampadaires de la rue éclairent suffisamment le terrain.
- Éclairer l'aire de stationnement le soir et la nuit, seulement en fonction du nombre de véhicules qui l'occupent.
- Utiliser l'éclairage architectural des façades, uniquement pour les événements particuliers.

Intensité d'éclairage recommandée dans les pièces communes

Local	Niveau à l'endroit concerné	
Salles de réunions	300 lux	1.2 mètre au-dessus du sol
Halls d'entrée couloirs	150 lux	1.2 mètre au-dessus du sol
Escaliers	200 lux	sur les marches
Locaux d'entreposage Locaux à déchets	50 lux	Sur le plancher
Salle de lavage Toilettes communes	300 lux	1.2 mètre au-dessus du sol
Salles d'équipements	50 lux	Sur le sol
Garages	50 lux	Sur le sol
Gymnases	150 lux	1.2 mètre au dessus du sol
Cuisines	500 lux	A niveau de table
Bureaux	700 lux	A niveau de table
Nef	150 lux	1.2 mètre au dessus du sol
Choeur	200 lux	1.2 mètre au dessus du sol

. S'assurer que les valeurs recommandées soient conformes aux codes locaux.
. Éteindre les lumières lorsque le local n'est pas utilisé.
. L'éclairage peut être réduit de 50% la nuit.
Il faut faire preuve de PRUDENCE en réduisant l'éclairage dans les couloirs et les escaliers.

6.3. Le remplacement des sources lumineuses

Les édifices religieux, particulièrement ceux construits il y a plus de 20 ans, sont souvent dotés de sources lumineuses (lampes) dont l'efficacité énergétique est complètement dépassée aujourd'hui. Les coût actuels de l'énergie électrique et ceux que l'on prévoit pour l'avenir justifient souvent le remplacement des sources lumineuses.

C'est particulièrement dans les églises à plafonds élevés ou dans les édifices religieux de grande superficie que le remplacement des lampes peut améliorer de façon appréciable l'efficacité du système d'éclairage.

Dans les nefs ou autres locaux de plus de 4 mètres de hauteur, on peut, par exemple, remplacer l'éclairage incandescent existant par des lampes au sodium haute pression ou à halogènure de métal.

Toute amélioration se traduira par une réduction du nombre de luminaires, la prolongation de leur durée de vie et une consommation d'énergie inférieure. Cependant, il faut faire attention à la couleur de l'éclairage.

En plus des lampes, il faudra parfois remplacer les luminaires et une partie des circuits électriques. La rentabilité est donc à surveiller.

Pour faire un choix judicieux, il convient de décrire les caractéristiques des deux principaux groupes de luminaires que l'on peut employer, à savoir les lampes à incandescence et les lampes à décharge électrique.

» 1. Les lampes à incandescence

La lumière y est produite par un filament de tungstène monté sous vide dans une ampoule et chauffé à blanc par un courant électrique. Bien que leur rendement énergétique soit de l'ordre de 20%, elles restent largement utilisées parce qu'elles ne coûtent pas cher. Elles permettent une grande variation dans l'intensité lumineuse et leur lumière chaude est particulièrement agréable. En outre elles s'allument instantanément.

En dehors de leur puissance qui va de 15 à 1000 watts, on trouve diverses variations de ce type de lampe :

- les lampes anti-choc adaptées à des contextes d'usage abusif ou soumises à des trépidations;
- les lampes à usage prolongé, adaptées à des lieux difficiles d'accès, mais dont le rendement lumineux est plus faible;
- les lampes au quartz, plus récentes, dont la durée de vie et l'efficacité sont supé-

rieures, mais leur coût de remplacement plus élevé et la pose délicate;

- les lampes à réflecteurs utilisées pour l'intérieur et l'extérieur dans beaucoup d'églises, qui émettent la lumière sous forme de faisceaux plus ou moins larges.

Les lampes à réflecteur sont souvent dotées d'un réflecteur parabolique. Elles sont installées d'ordinaire dans des luminaires à cavité non réfléchissante. Malheureusement, à cause de la forme parabolique élargie du réflecteur, beaucoup de lumière reste emprisonnée dans le luminaire, ce qui diminue grandement l'efficacité de l'éclairage.

Les lampes à réflecteur elliptique solutionnent ce problème en plaçant le point de convergence de la lumière à plusieurs centimètres en-dessous du luminaire. Puisque c'est de ce point que la lumière est diffusée, il y a beaucoup moins de perte et leur rendement est supérieur.

On trouve ces lampes à réflecteur elliptique dans les formats suivants:

Puissance	Appellation
50 watts	50 ER 30
75 watts	75 ER 30
120 watts	120 ER 40

Pour la majorité des luminaires à cavité, une lampe à réflecteur conventionnel de 150 watts peut être remplacée par une 50 ER 30 ou une 75 ER 30, ce qui assure une réduction de la consommation de 67% et de 50% respectivement.

»

2. Les lampes à décharge électrique

Dans ce type de lampes, c'est la décharge d'un courant électrique dans un gaz qui génère la lumière. Ces lampes (les tubes fluorescents, et les lampes à décharge à haute intensité) ont un rendement de loin supérieur à l'éclairage incandescent (3 à 10 fois plus de lumens par watt) et durent beaucoup plus longtemps (de 10 à 24 fois plus). Voici une description de ces lampes et de leur utilisation.

- **Les fluorescents**

La lumière y est produite par le revêtement de phosphore qui recouvre la paroi interne du tube. Efficace, peu dispendieux et de longue durée, l'éclairage aux fluorescents convient à beaucoup d'usages intérieurs tels les bureaux, les salles de réunion, les corridors. Ils conviennent mal à l'architecture des nefs et des sanctuaires d'église. Cependant, pour les autres usages, ils offrent une bonne gamme de spectres lumineux dont certains s'approchent beaucoup de la lumière naturelle.

De nouveaux types de tubes fluorescents à haute efficacité énergétique sont apparus sur le marché. Ils réduisent encore la consommation des installations conventionnelles en émettant pratiquement la même quantité de lumière.

Le tableau suivant établit la comparaison:

Modèle	Ordinaire	H.E.*
1.2 mètres 2.4 mètres Ballast	40 75 5	35 60 5
Quantité de lumière émise	120%	100%
* Haute efficacité		

La réduction du nombre de fluorescents ne peut cependant se faire n'importe comment. En effet, ces tubes sont reliés deux à deux à un ballast (régulateur de puissance) et on ne peut retirer l'un des deux sans que l'autre ne s'éteigne. Pour le faire il faut installer à la place du tube fluorescent un tube fantôme, qui ne consomme rien mais assure un fonctionnement normal du ballast. Dans les luminaires à quatre tubes on peut en retirer deux, reliés au même ballast, en débranchant ce dernier.

On dit souvent qu'un allumage répétitif d'un éclairage fluorescent réduit la durée de vie du tube et augmente la consommation. Ceci est vrai mais on considère qu'éteindre l'éclairage pour une période excédant 15 minutes est moins coûteux que de le laisser allumé.

- **Les lampes à décharge de haute intensité**

Ces lampes offrent d'excellent rendements lumineux et permettent de fortes réductions énergétiques. Cependant elles sont plus dispendieuses et nécessitent des raccordements complexes. Leur spectre lumineux surtout est peu varié et assez éloigné du spectre solaire fournissant pour cela une lumière peu naturelle. Il faut donc y faire attention: seules les lampes à couleurs naturelles (moins efficaces) pourront être utilisées dans l'église.

Les types les plus courants sont les lampes à vapeur de mercure, les lampes au sodium et les lampes à halogénure de métal.

- Les lampes à vapeur de mercure conviennent pour une utilisation nécessitant une grande puissance sur une longue durée. Elles peuvent être utilisée à l'intérieur de locaux à plafonds élevés mais sont généralement utilisées à l'extérieur parce qu'elles donnent une lumière qui modifie beaucoup les couleurs naturelles.
- Les lampes au sodium de basse ou haute pression conviennent bien aux usages extérieurs comme l'éclairage architectural ou celui des stationnements. Le sodium à haute pression fournit une couleur pêche alors qu'à basse pression la couleur est plutôt ambrée. Les deux sont couramment utilisées pour l'éclairage des autoroutes et celui des terrains de stationnement dans les centres d'achats.
- Les lampes à halogénure de métal donnent une belle lumière blanche mais elles restent coûteuses et doivent, pour durer, rester allumées au moins 5 à 6 heures en continuité.

»

3. Le choix de l'éclairage

Le choix d'un éclairage de remplacement demande une évaluation soigneuse surtout

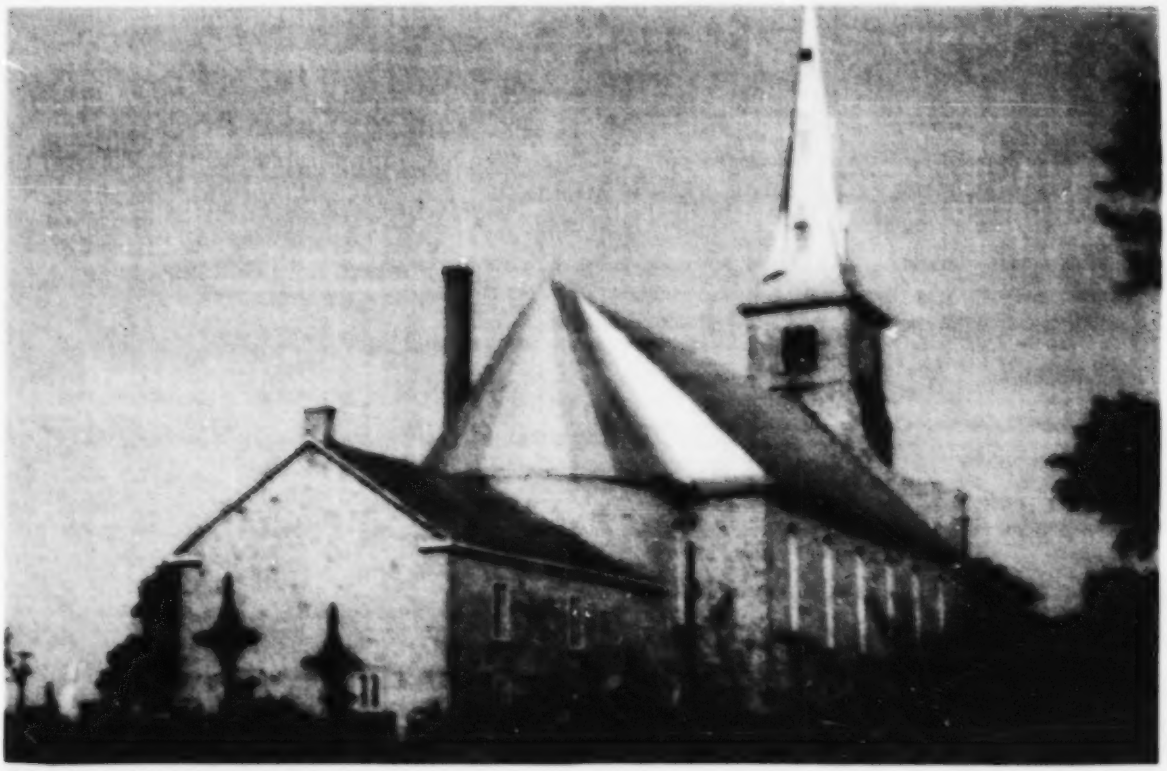
dans les églises où le rendu des couleurs des fresques et des peintures est important.

On évite généralement les lampes à vapeur de mercure et au sodium. Leur spectre lumineux rend mal les couleurs des plâtres peints. Par contre, les lampes au quartz, sont souvent utilisées pour l'éclairage des voûtes et pour l'éclairage d'ambiance en général. Mentionnons les installations aux églises Saint-Léon-de-Westmount, de la Visitation et Saint-Patrick à Montréal. Ces lampes sont petites, faciles à camouffler et puissantes. Il faut cependant veiller à ce que l'installation soit bien faite, car ce sont des appareils fragiles et coûteux.

L'éclairage encastré dans la voûte est peu recommandable. Il donne un faible éclairage latéral sur les voûtes et occasionne des déperditions de chaleur, tel que mentionné précédemment.

On pourrait considérer le remplacement de l'éclairage incandescent existant par un éclairage combiné sodium haute pression et halogénure de métal pour obtenir un rendu de couleurs acceptable.

Dans le sanctuaire on peut parfois adopter un éclairage architectural dans le but de créer une ambiance visuelle particulière. Dans ce cas, le choix des luminaires se fait plus en fonction de l'effet désiré que par souci d'économie et l'intervention d'un architecte est souvent indiquée.



Église de Saint-Bernard de Lacolle

7.ÉVALUATION DES ÉCONOMIES PRÉVISIBLES

7.1. Vue d'ensemble

En évitant les formules et les calculs théoriques, nous allons étudier un exemple concret et déterminer les économies prévisibles lors de l'application des différentes mesures dans un lieu de culte.

Nous avons choisi de chiffrer les économies plutôt que les travaux car les économies sont plus difficilement accessibles. De plus les coûts des travaux peuvent être obtenus sur demande auprès des fournisseurs et des entrepreneurs.

Remarque:

On ne peut généralement pas additionner intégralement les économies exprimées en pourcentage comme en dollars par année. De façon générale, la première intervention apportera son plein résultat. La seconde apportera un résultat moindre qui sera réduit dans la proportion de la première intervention. La troisième sera réduite en proportion des deux premières et ainsi de suite.

Si la première économie réduit la consommation d'énergie du lieu de culte de 10%, l'économie suivante, qui devrait permettre une réduction de 5% indépendamment de la première, ne réduira que de 90% de 5%, soit 4,5%. Le pourcentage réel de la troisième sera ainsi, de 85.5% de son pourcentage propre.

Description du lieu de culte choisi comme exemple

Dimensions	20 mètres par 40 mètres. (66 pieds par 131 pieds)
Hauteur de la voûte	8 mètres (26 pieds).
Sous-sol	20 mètres par 40 mètres. (66 pieds par 131 pieds) 3 mètres de hauteur (10 pieds) dont 1 mètre (3 pieds) hors sol.
Fenestration	20% de la surface des murs.
Température de chauffage	18 °C (64 °F) pendant toute la saison de chauffage.
Conditions climatiques	Région de Montréal, c'est-à-dire:::: -Vent moyen de 4,5 mètres par seconde. -Température moyenne de la saison de chauffage de 0 °C. -Durée de la saison de chauffage de 32 semaines.
Exposition au vent	Aucune protection.
Système de chauffage	Efficace.
Isolation	-Murs: De madriers ou de maçonnerie légèrement isolée, 1,5 RSI (R8). -Sous-sol: Légèrement isolé, 0,9 RSI (R5). -Portes et fenêtres: Vitrage double ordinaire, 0,35 RSI (R2).
Plafond et toit	Moyennement isolés, 3,5 RSI (R20).
Étanchéité	Taux d'infiltration fort: Le changement d'air par heure est obtenu par des fentes et fissures de 0,78 mm de largeur aux joints de construction (murs-solage, murs-toit), aux fenêtres et aux portes (entre la partie mobile et le cadre et entre le cadre et les murs), aux accés à l'entretoit, plus des taux unitaires pour les prises électriques (1 cm2), les lampes encastrées (20 cm2), le ventilateur de cuisine (42 cm2), les ventilateurs de toilette (22 cm2), et la cheminée (80 cm2). Toutes ces fissures ont une superficie globale de 1,83 m2 et l'infiltration se fait au taux spécifique de 0,481 m3 par heure et cm2.
Éclairage intérieur	Encastré (80 ampoules incansdescentes de 200 watts).
Éclairage extérieur	4 projecteurs de 1000 Watts à halogénure de métal..

7.2. L'infiltration

7.2.1. Coût du chauffage et répartition entre les pertes par infiltration et les pertes par conduction

› Coût de l'infiltration

Dans le lieu de culte type de 20 m par 40 m (131 par 66 pieds) et de 8 m de hauteur (26 pieds), le sous-sol a 3 m de hauteur, pleine grandeur, dont 1 m hors sol.

Une forte infiltration d'air, causée par le vent et l'effet de cheminée, produirait un (1) changement d'air à l'heure (soit 8800 mètres cube par heure, c'est-à-dire le volume du lieux de culte en une heure: 20m x 40m x 11m).

Dans la région climatique de Montréal, s'il n'y a pas de protection contre les vents, le chauffage de l'infiltation d'air coûterait **14 000 $** par année, pour maintenir la température à 18 °C (64 °F) pendant les 32 semaines de la saison de chauffage.

Si le lieu de culte était très peu étanche ou encore extrèmenent peu étanche, on devrait doubler ou tripler ce chiffre. Une excellente construction avec les joints de construction étanches et bien calfeutrés, les fenêtres et portes efficaces (étanchéité assurée par des coupe-bise sur les cadres et le calfeutrage des joints entre le cadre des portes et les murs), permettrait de ramener ce chiffre à la moitié, au quart, voire même au dixième de cette valeur de 14 000 $. Le tableau 1 présente ces données.

› Coût des pertes par conduction au travers des parois extérieures

Comme on le voit au tableau 2 (coût de chauffage des pertes par conduction), une isolation moyenne provoque un coût de chauffage à cause des pertes par conduction de **9 000 $** par année.

Une isolation faible ou presque inexistante entraînerait un coût de 15 000 $ par année tan-

Tableau 1: Coût du chauffage des infiltrations pour le lieu de culte choisi comme exemple

TYPE D'INFILTRATION	MINIMAL	FAIBLE	MOYEN	FORT	TRES FORT	EXTREME
Nombre de changements d'air par heure	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,0
Type de construction	Nouvelle construction	Portes et fenêtres munies de coupe-bise et calfeutrées entre les cadres et les murs.		Absence de coupe-bise et de calfeutrage		Portes, fenêtres et vitraux avec beaucoup de fentes
Coût du chauffage des infiltrations par année	**1 400 $**	**3 500 $**	**7 000 $**	**14 000 $**	**28 000 $**	**42 000 $**

dis qu'une isolation élevée (selon les normes en vigueur) ferait baisser le coût de 6 000 $ par année.

› **Coût total du chauffage**

Le tableau 3 (coût total du chauffage) permet de constater que le lieu de culte pris comme exemple (infiltration forte et isolation moyenne) coûte **23 000 $** de chauffage par année dont 14 000 $ pour l'infiltration et 9 000 $ pour les pertes par conduction. L'infiltration coûte donc en pourcentage le rapport de 14 000 $ sur 23 000 $, soit 60% du chauffage.

Tableau 2:

Coût du chauffage des pertes par conduction pour le lieu de culte choisi comme exemple

Isolation faible: 15 000 $ par année		
Murs de maçonnerie non isolés	RSI 0,74	(R4,2)
Sous-sol non isolé	RSI 0,35	(R2)
Portes et fenêtres à vitrage double ordinaire	RSI 0,35	(R2)
Plafond et toit non isolés	RSI 1,8	(R10)
Isolation moyenne: 9 000 $ par année		
Murs de maçonnerie peu isolée ou de madriers non isolés	RSI 1,5	(R8)
Sous-sol légèrement isolé	RSI 0,9	(R5)
Portes et fenêtres à vitrage double ordinaire	RSI 0,35	(R2)
Plafond et toit moyennement isolés	RSI 3,5	(R20)
Isolation élevée: 6 000 $ par année		
Murs isolés selon les "Normes"	RSI 3,5	(R20)
Sous-sol isolé selon les "Normes"	RSI 2,1	(R12)
Portes et fenêtres à vitrage double ordinaire	RSI 0,35	(R2)
Plafond et toit isolés selon les "Normes"	RSI 5,4	(R30)

Tableau 3: Coût total annuel du chauffage pour le lieu de culte choisi comme exemple

TYPE D'INFILTRATION

TYPE D'ISOLATION	MINIMAL	FAIBLE	MOYEN	FORT	TRÈS FORT	EXTRÊME
FAIBLE	16 400 $	18 500 $	22 000 $	29 000 $	43 000 $	57 000 $
MOYEN	10 400 $	12 500 $	16 000 $	23 000 $	37 000 $	51 000 $
ÉLEVÉ	7 400 $	9 500 $	13 000 $	20 000 $	34 000 $	48 000 $

On passe de FAIBLE à MOYENNE par isolation de l'entretoit.

Accessible pour presque tous les lieux de culte existants.

On atteint l'infiltration moyenne en installant des contre-fenêtres aux vitraux à vitrage simple, des coupe-bise aux portes et aux fenêtres, en calfeutrant les portes, les fenêtres, entre les cadres et les murs ainsi que les joints de construction.

»

7.2.2. Combien rapporte le calfeutrage d'une fissure ou l'installation d'un coupe-bise à une porte ou une fenêtre?

Une fente de moyenne largeur (1 mm ou environ 3/64 de pouce), dans le lieu de culte que nous avons choisi comme exemple (condition de vent et de température de la région de Montréal, aucune protection contre le vent) produira une infiltration de 4,8 mètres cubes par heure par mètre de longueur (4.8 m3/h.m), si le lieu de culte est chauffé à 18 °C en moyenne. Le chauffage de cette quantité d'air d'infiltration, toujours à 18 °C en moyenne, pendant 32 semaines par année, demandera 80 kWh par année, ce qui coûtera 4 $ par année avec un système de chauffage efficace.

Si elle fait le tour d'une fenêtre ou d'une porte de 2m par 1m, une telle fente de 1 mm d'épaisseur aura 6m de longueur. Elle coûtera alors, dans les conditions précisées plus haut, 24 $ par année, ce qui peut défrayer le coût d'achat et peut-être le coût d'installation d'un coupe-bise de bonne qualité.

Un vitrail de 2m x 1m qui comporterait 16 m de longueur d'interstices de 1mm de largeur (approximativement 3/64 de pouce), sans contre-fenêtre, coûterait en chauffage 64 $ par année (4 $/m fois 16 m), ce qui compenserait le coût des contre-fenêtres.

Il est à noter que les fenêtres peuvent avoir des dimensions plus ou moins grandes, mais que cette dimension de 1mm est typique, autour des fenêtres et des portes. Le coût de chauffage dû à l'infiltration est proportionnel à la largeur de la fente et à sa longueur.

»

7.2.3. Localisation des infiltrations et leur importance

Le tableau 4 donne la localisation des infiltrations et leur surface pour le lieu de culte retenu comme exemple pour un taux d'infiltration élevé (1 changement d'air à l'heure).

Pour fin de comparaison, les paragraphes suivants donnent les composantes des édifices résidentiels qui provoquent de l'infiltration avec leur localisation et l'importance de l'infiltration.

Ces données sont aussi pertinentes pour les églises. (Source: A.S.H.R.A.E., Fundamentals, 1985. chap 22, pages 10 et 11).

1. Les murs (18% à 50% des infiltrations, 35% en moyenne)

Les parois intérieures et extérieures des murs comportent des sources d'infiltration. Il y a des fuites entre le solin et les fondations, dans les fentes qui subsistent en-dessous du bas des panneaux de placoplâtre, aux prises de courant, le long des tuyaux de plomberie et au sommet des murs.

2. Les détails des plafonds (3 à 30%, 18% en moyenne)

Les fuites réduisent l'efficacité de l'isolation du plafond. L'éclairage encastré, les tuyaux et les fils électriques qui pénètrent dans l'entretoit sont des sources d'infiltration à calfeutrer.

3. Les systèmes de chauffage (3 à 38%, 15% en moyenne)

La localisation de la chaudière et des gaines de ventilation dans les espaces climatisés ou non climatisés, l'utilisation d'une chaudière électrique ou à combustible et l'introduction d'air extérieur pour la combustion ou l'appoint influent sur la quantité d'infiltration. Une fuite dans une gaine d'air chaud, dans un espace non chauffé (vide sanitaire), fait perdre de l'air que la chaudière vient de chauffer.

4. Les portes et fenêtres (6 à 22%, 15% en moyenne)

On voit plus de variations d'infiltration par les fenêtres entre les différents types (à battant, à guillotine) qu'entre les produits neufs de divers fabricants. Les fenêtres qui compriment le coupe-bise (à battant, à auvent), sont plus performantes que les fenêtres qui glissent sur les coupe-bise.

5. Les foyers (0 à 30%, 12% en moyenne)

Des portes de verre et des registres aident à limiter l'infiltration.

6. Les évacuateurs (2 à 12%, 5% en moyenne)

Souvent, ces évacuateurs n'ont pas de clapet ou ont des clapets qui ne ferment pas bien.

Tableau 4: Localisation des infiltrations d'air et leur surface pour le lieu de culte choisi comme exemple. Taux d'infiltration élevé (1 changement d'air à l'heure)

ENDROIT	Surface de fente		Volume d'infiltration 0,481 m3/h..cm2	Répartition	Coût de l'infiltration par année
	Unitaire	Totale			
1. Joints entre les murs et le solage.	7,81 cm2/m	937 cm2	451 m3/heure	5,1 %	715 $
2. Joints entre les murs et le toit.	7,81 cm2/m	937 cm2	451 m3/heure	5,1 %	715 $
3. Fenêtres (entre cadre et partie mobile)	7,81 cm2/m	7498 cm2	3607 m3/heure	40,9 %	5 723 $
4. Portes (entre le cadre et la partie mobile)	7,81 cm2/m	281 cm2	135 m3/heure	1,5 %	215 $
5. Accès à l'entretoit.	7,81 cm2/m	62 cm2	30 m3/heure	0,3 %	47 $
6. Fenêtres (joints entre le cadre et le mur)	7,81 cm2/m	7498 cm2	3607 m3/heure	40,9 %	5 723 $
7. Portes (joints entre le cadre et le mur)	7,81 cm2/m	281 cm2	135 m3/heure	1,5 %	215 $
8. Prises électriques.	1 cm2/prise	20 cm2	10 m3/heure	0,1 %	215 $
9. Lampes encastrées.	20 cm2/lampe	640 cm2	308 m3/heure	3,5 %	489 $
10. Ventilateur de cuisine.	42 cm2/vent.	42 cm2	20 m3/heure	0,2 %	32 $
11. Ventilateurs de toilette.	22 cm2/vent.	66 cm2	32 m3/heure	0,4 %	50 $
12. Cheminée de la chaudière.	80 cm2/chem.	80 cm2	38 m3/heure	0,5 %	61 $
TOTAL		18 342 cm2	8 824 m3/h	100 %	14 000 $

»

7.2.4. L'aménagement extérieur: protection contre le vent

Pour le lieu de culte choisi comme exemple (40m x 20m x 8m, sous-sol de 3m, chauffé à 18°C pendant 32 semaines par année, dans la région climatique de Montréal), le coût de chauffage pour isolation moyenne et infiltration forte est de 23 000 $ par année dont 14 000 $ pour l'infiltration. Cette infiltration se produit sous l'effet du vent et à cause de l'effet de cheminée. Ces chiffres sont valables pour un lieu de culte sans aucune protection contre le vent.

Qu'arrive-t-il au coût de chauffage si l'on ajoute une protection contre le vent?

Le tableau 5 fournit la réponse. La réduction de l'infiltration peut atteindre 30%. Le coût total de chauffage, pour isolation moyenne et infiltration forte, peut ainsi être réduit de 18%, soit de 23 000 $ à 18 800 $ par année.

Tableau 5: Réduction des infiltrations par la protection contre le vent [1]
(sans réduire les fissures)

CLASSE	DESCRIPTION DE LA PROTECTION CONTRE LE VENT.	COUT TOTAL DE CHAUFFAGE	DIMINUTION PAR RAPPORT A LA CLASSE I	COUT DE L' INFILTRATION	DIMINUTION PAR RAPPORT A LA CLASSE I
I	Aucune obstruction ni protection contre le vent.	23 000 $	0%	14 000 $	0%
II	Légère protection locale contre le vent: Un peu d'obstruction, quelques arbres ou de petites dépendances.	22 000 $	4%	13 000 $	7%
III	Protection locale modérée contre le vent: Quelques obstructions à moins de deux fois la hauteur de l'église, haies épaisses, clôtures importantes, un grand bâtiment voisin.	21 000 $	9%	12 000 $	14%
IV	Importante protection contre le vent: Obstructions sur la plupart du périmètre de l'église, édifices et arbres à moins de 10 mètres dans la plupart des directions; Protection typique de banlieue.	20 000 $	13%	11 000 $	21%
V	Très importante protection contre le vent: Obstructions importantes entourant le périmètre de l'église à moins de deux fois sa hauteur; Protection type du milieu urbain et du centre-ville.	18 800 $	18%	9 800 $	30%

[1] Infiltration totale due au vent et à l'effet de cheminée.
Source:: A.S.H.R.A.E., Fundamentals 1985, Chap. 22, page 17.

7.2.5. Addition d'un vestibule

L'addition d'un vestibule ou le fait de garder fermées les portes du vestibule existant pourrait faire économiser 200 $ par année si le vestibule ou les vestibules sont utilisés 4 000 fois par semaine en moyenne, soit environ 300 entrées et sorties par jour.

7.3. L'isolation

7.3.1. Isolation des murs de fondation

Nous référant toujours au même exemple (un lieu de culte chauffé à 18 °C), l'ajout d'isolant au sous-sol déjà partiellement isolé permettrait une économie de 750 $ par année.

Par ailleurs, isoler le sous-sol qui ne l'était pas auparavant permettrait une économie de 2 750 $ par année.

7.3.2. Isolation des murs extérieurs

Dans un lieu de culte construit sans isolation, le fait d'ajouter de l'isolant dans les murs extérieurs, jusqu'à un niveau de 3,5 RSI (R20), amènerait des économies de 5 000 $ par année pour une église de maçonnerie dont la résistance thermique des murs était de 0,74 RSI (R4,2) et de 2 000 $ pour une construction en carré de bois dont la résistance thermique antérieure était de 1,5 RSI (R8).

Ceci prouve que plus il y a d'isolant au départ, moins il est rentable d'en ajouter.

7.3.3. Isolation du toit et des voûtes

Toujours pour le même exemple, nous examinerons deux situations où l'on ajoute de l'isolant dans le toit ou sur les voûtes.

1. Un toit ou des voûtes avec entretoit sans isolation peuvent avoir une résistance thermique de 1,8 RSI (R10). Si on ajoute de l'isolant pour atteindre une résistance thermique de 5,3 RSI (R30), les économies s'élèveront à 1 500 $ par année.

2. Un toit ou une voûte déjà légèrement isolés peuvent avoir une résistance thermique de 3,5 RSI (R20). Un ajoût d'isolant pour faire passer la résistance thermique à 5,3 RSI (R30) procurerait des économies de 350 $ par année.

Encore une fois, il est plus rentable d'ajouter de l'isolant à une composante de l'enveloppe qui ne possède qu'une faible résistance thermique.

7.3.4. Isolation des portes

Comme nous l'avons déjà vu, la pose de coupe-bise à une porte qui a un jeu de 1 mm (3/64 de pouce) peut rapporter 24 $ par année dans les conditions climatiques de Montréal, sans protection contre le vent, pour un chauffage à 18 °C, 32 semaines par année.

Combien peut rapporter l'isolation d'une porte?

Si l'on passe de 0,5 à 1,5 RSI (R3 à R9), dans les mêmes conditions que ci-dessus, on économise 250 kWh par année, c'est-à-dire 12,50 $ par année pour une porte de 2m par 1m.

7.3.5. Isolation d'une fenêtre

Si l'on se réfère encore à notre exemple, le calfeutrage de 1 m de fente de 1 mm de largeur (3/64 de pouce) rapporte 4 $ d'économie par année.

L'installation de contre-fenêtres, en plus de réduire l'infiltration, procure une économie annuelle de 350 kWh par mètre carré, c'est-à-dire 12,50 $ par année. (La résistance thermique passe de 0,18 à 0,36 RSI soit R1 à R2 Impérial).

Notre exemple comportait des contre-fenêtres ou des vitrages doubles. Pour des fenêtres à vitrage simple, l'ajout d'un deuxième vitrage permettrait des économies de 3 000 $ par année au travers de ses 240 m^2 de vitrage.

7.3.6. Fenêtre dotée de vitrage à basse émissivité

L'installation de vitrage double à basse émissivité, par rapport au vitrage double conventionnel, ferait économiser 100 kWh, soit 5 $ par année, toujours dans les mêmes conditions.

Dans notre exemple, le lieu de culte était doté de fenêtres à double vitrage d'une superficie de 240 m^2. L'économie due au remplacement de ces vitrages conventionnels par des vitrages à basse émissivité serait de 240 m^2 x 5 $ soit 1 200 $ par année.

7.4. Les systèmes de chauffage

7.4.1. Diminution de la température pendant les périodes d'innocupation

Nous gardons toujours le même exemple, avec les mêmes caractéristiques physiques et les mêmes contraintes climatiques. Le chauffage s'élève à 23 000 $ par année.

Les économies à prévoir pour un abaissement de la température intérieure de 1 °C, 24 heures par jour et 7 jours par semaine, est de 5.5% de son coût global.

Ainsi, un abaissement de 18 °C (64 °F) à 16 °C (60 °F), 24 heures par jour et 7 jours par semaine, permettrait d'économiser 11% de 23 000 $, soit 2 500 $ par année. L'augmentation de température de 18 °C (64 °F) à 20 °C (68 °F) augmenterait le coût de 2 .500 $ par année.

Si l'on effectuait un abaissement de température plus prononcé quelques jours par semaine, par exemple de 18 °C (64 °F) à 13 °C (55 °F) pendant 4 jours par semaine, les économies seraient de:

5 °C x 5,5% x 4/7 x 23 000 $ ou

20,4% de 23 000 $ ou

4 700 $

7.4.2. Changement de source d'énergie pour le chauffage

Si l'église qui nous sert d'exemple était chauffée au mazout par une chaudière peu efficace (efficacité de combustion entre 65 et 70%), la conversion à l'électricité ou au gaz pourrait faire économiser de 10% à 15% du chauffage.

Cela représenterait de 2 300 $ à 3 450 $ par année sur les 23 000 $ destinés au chauffage.

La conversion à la bi-énergie pourrait être encore plus avantageuse.

Pour évaluer la rentabilité d'un changement de source d'énergie, il est préférable de s'adresser à un technicien en mécanique du bâtiment ou à un ingénieur indépendant, spécialement pour la pompe à chaleur qui n'est généralement pas rentable, mais qui pourrait l'être dans des cas spécifiques.

7.4.3. Amélioration du système de chauffage

AMÉLIORATION	ÉCONOMIES PROBABLES
Ajustement d'un brûleur pour réduire l'excès d'air au minimum requis.	5 %
Réduction de la capacité du gicleur.	7 à 9 %
Remplacement du brûleur par un brûleur à tête de retenue.	14 à 20 %
Registre de cheminée à commande automatique.	2 à 5 %
Éteindre la veilleuse d'un brûleur au gaz naturel durant l'été.	1 %
Remplacer la chaudière par une chaudière au gaz performante (75%)	10 à 15 %
Remplacer la chaudière par une chaudière au gaz de très haute performance (95%)	20 à 25 %
Réduction de la vidange et de la purge d'une chaudière	1 %
Isolation de la tuyauterie d'eau chaude du système de chauffage	Peut être rentable des fois.
Transformation d'un système de chauffage à vapeur en système à eau chaude.	4 à 7 %
Thermostat extérieur-intérieur pour régler la température de l'eau chaude du chauffage.	2 %
Zonage des locaux.	2 à 5%
Régler à la baisse le thermostat.	5 à 25 %

7.5. Stratification et hélices

Pour que la stratification de chaleur soit significative et atteingne 10 °C de différence entre le niveau des occupants et celui de la voûte, il faudrait d'abord que l'église de notre exemple soit étanchéifiée suffisamment pour que les infiltrations soient réduites des trois-quart c'est-à-dire, qu'on aurait ramené le changement d'air par heure à 0.25.

De plus, elle devrait être mieux isolée. Alors le coût de chauffage serait de 9 500 $ par année et le coût de la stratification, c'est-à-dire les économies possibles dues à l'installation des hélices, serait de l'ordre de 10 à 15% de ce montant, soit de 950 $ à 1 400 $ par année.

7.6. Éclairage

Combien coûterait l'éclairage de notre exemple?

L'éclairage extérieur, avec quatre projecteurs de 1000 watts, utilisés en moyenne 12 heures par jour à l'année, coûterait 876 $.

Réduire la durée d'utilisation de ces projecteurs de 12 heures à 6 heures par jour économiserait 438 $ par année.

L'éclairage intérieur, constitué de 80 ampoules à incandescence de 200 watts coûteraient 876 $ par année en l'utilisant 3 heures par jour en moyenne.

Une réduction de l'utilisation à seulement 2 heures par jour en moyenne économiserait 292 $ par année.

Si l'on changeait 8 lampes à incandescence de 200 watts au sous-sol pour 10 tubes fluorescents de 40 watts, l'économie annuelle serait de 60 $, en les utilisant une moyenne de 3 heures par jour.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Bureau de l'efficacité énergétique